

ACTA CIENTÍFICA

ASOCIACIÓN DE MAESTROS DE CIENCIAS DE PUERTO RICO



Editor
Ariel E. Lugo

Editor invitado
Brenda Santiago

Lectores
Ferdinand Quiñones Márques
Jorge Rodríguez Lara
Marta Fortis
Michelle Borrero
Milagros Bravo
Pascua Padró
Gisel Reyes

Editor de producción
Ivonne Vélez
Evelyn Pagán

PORTADA

Las primeras dos fotos a la izquierda muestran a maestros del nivel secundario, participantes del proyecto *Maximizing Yield Through Integration* (NSF #1038166), y autores en este volumen, durante su participación en el programa de Inmersión en Investigación Científica (artículo: Borrero et al.). El resto de la compilación de fotos corresponde a los proyectos escolares, utilizando la estrategia educativa “aprendizaje basado en proyectos”, en el contexto del manejo de desperdicios sólidos, que formaron parte de la investigación acción realizada por los maestros con sus estudiantes en sus salas de clases y cuyos artículos y/o ensayos forman parte de este volumen. Todas las fotos fueron tomadas por los autores.

CONTRAPORTADA

Las fotos utilizadas corresponden a los manuscritos y ensayos redactados por los estudiantes graduados participantes del proyecto *Integrative Graduate Education and Traineeship* (IGERT – NSF #0801577). La foto a la izquierda muestra la ubicación del alcantarillado Afluente Norte y sus características geográficas dentro del Estuario de la Bahía de San Juan al noreste de Puerto Rico (artículo: Nytech et al.). La foto superior a la derecha representa las áreas esenciales de protección de la cuenca del río Mameyes (artículo: Alicea Martínez et al.). La foto inferior es un mapa del Viejo San Juan que representa el área de estudio y la zonificación del área (Castro Prieto et al.). Las próximas dos fotos son una fotografía aérea que compara la playa El Convento en los años 1931 y 2013 (fuente: US Navy 1931), recuperada en <http://pr1930.revistatp.com/> and Google Earth (2013) (ensayo: Lugo Vega et al.) y el área de estudio comunidad de Capetillo en Río Piedras (artículo: Vega Fontáñez et al.). La foto inferior es un mapa que representa la distribución espacial de estaciones meteorológicas operadas por el Servicio Nacional de Meteorología en Puerto Rico, 1990 - 2004. Fuente: DRNA, 2004 (artículo: Cartagena Colón et al.).

ACTA CIENTÍFICA

TABLA DE CONTENIDO

EDITORIAL	1
<hr/>	
INVESTIGACIÓN EDUCATIVA	
<hr/>	
ENSAYO INTRODUCTORIO	
Mejorando la Educación STEM a través de la investigación educativa <i>Michelle Borrero, Milagros Bravo Vick, Marta Fortis y Pascua Padró Collazo</i>	6
ARTÍCULOS	
Educación ambiental informal: un modelo para mejorar el desempeño en las Pruebas Puertorriqueñas de Aprovechamiento Académico <i>Sandra M. Del Río Joglar, Michelle Borrero y Jorge Rodríguez Lara</i>	26
Efecto de intervención interdisciplinaria en la actitud hacia las Ciencias y Matemáticas <i>Marta Fortis y Roxana Aucchuallpa</i>	45
Students' academic achievement in Chemistry after implementing a PBL strategy <i>Myrna Hernández</i>	61
Agua: fuente de aprendizaje significativo <i>Carmen M. Ruiz Méndez</i>	77
A Problem Based Learning intervention on organic matter recycling and biogeochemical cycles <i>Jadira Aponte Ramírez</i>	86
Students' learning on solid waste disposal as an alternative source of energy <i>Sandra Beltrán Morales</i>	107
Aprendizaje basado en proyectos agro escolares: estrategia educativa para aprender modelos matemáticos <i>Tomás Díaz Berríos</i>	127
Organización y representación de gráficas: Proyecto Basura Cero <i>Luis O. de Jesús Torres</i>	153
Investigación acción: ¡Estadísticas en la basura! <i>Carmen Velázquez y Lymarie Pérez</i>	164

Proyecto ambiental promueve destrezas de trabajo en equipo en estudiantes de matemáticas <i>Yamily Colón y Amabel Soto</i>	172
---	-----

ENSAYO

Laboratorio <i>in situ</i> del ciclo de vida de la mariposa <i>Danaus plexippus</i> <i>Minnuette Rodríguez Harrison</i>	194
--	-----

INVESTIGACIÓN AMBIENTAL

ENSAYO INTRODUCTORIO

UPR-IGERT's agents of change project: best practices for interdisciplinary work <i>Elvia Meléndez-Ackerman, Sofía Olivero Lora, Angélica Erazo, José Fontánez, Khrisia Torres, Yankiomy Hernández, Cristina Vila, Elizabeth Díaz, Nicolás Correa, Luis Santiago, Ray Rodríguez and José Seguinot</i>	202
---	-----

ARTÍCULOS

Investigating the water balance and quality of a tropical urban sewershed through collaborative learning <i>Christopher J. Nyth, Jodany Fortuné, Molly M. Ramsey, Joel Meléndez, Mayra A. Sánchez García, Ana V. Arache, José A. Fontánez Pérez and Jorge R. Ortiz Zayas</i>	217
---	-----

Los ahogamientos en ríos de Puerto Rico: sus causas y factores de riesgo <i>Marianne Cartagena Colón y Jorge R. Ortiz Zayas</i>	255
--	-----

Public perception towards stray cats in Old San Juan, Puerto Rico <i>Jessica Castro Prieto and María José Andrade Núñez</i>	270
--	-----

Bosque urbano comunitario de Capetillo: un estudio exploratorio sobre comunidades urbanas y sus espacios verdes <i>Hagmel A. Vega Fontánez, Natalia Rodríguez Ortiz, Argenis Cátala Sánchez y Roselyn Méndez Resto</i>	282
---	-----

Teoría transdisciplinaria al servicio de los más vulnerables: estudio de caso del Río Mameyes, Puerto Rico <i>Adail Alicea Martínez, Nora Álvarez Berríos y Natalia B. Álvarez Negrón</i>	296
--	-----

ENSAYO

The Governor's beach house in <i>Playa El Convento</i> : a local environmental history to co-managing the northeast ecological corridor natural reserve values <i>Johnny Lugo Vega, Luis Villanueva Cubero, Francisco J. Soto Santiago and Paul Furumo</i>	312
---	-----

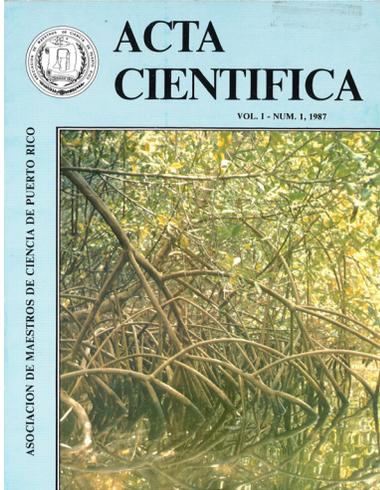
EDITORIAL- TREINTA AÑOS DE PUBLICACIÓN Y SERVICIO

Este volumen de **Acta Científica** representa 30 años de publicación continua. La revista comenzó en el 1987 con un número dedicado a los manglares. Ese número incluía estudios de estudiantes de la Universidad de Puerto Rico. Treinta años después, estudiantes y profesores de la misma Universidad contribuyen al contenido de este volumen de **Acta**. Durante los últimos 30 años **Acta** se ha nutrido de la actividad científica de estudiantes y maestros de escuela superior y de universidad. La política editorial ha enfatizado la publicación de trabajos con información valiosa que normalmente terminan como documentos sin publicar o informes de clase. **Acta** depende de la buena voluntad de profesores y mentores que estimulan a los estudiantes a llevar sus investigaciones hasta la publicación de artículos en revistas científicas que cumplan con las normas de revisión por pares y control de calidad. ¡Gracias a todos los estudiantes y profesionales que han publicado sus trabajos en **Acta**!

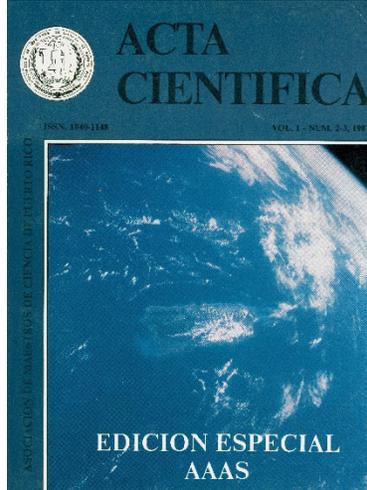
El tiempo ha volado y para reflexionar lo que hemos hecho, presentamos en las próximas páginas las portadas de los 30 volúmenes de **Acta**. Aún recuerdo cuando salió el primer número y se lo llevé una noche a la casa de Lucy Gaspar (QEPD), entonces Directora Ejecutiva de la Asociación de Maestros de Ciencia de Puerto Rico y fuerza motriz detrás del esfuerzo para establecer a **Acta** como un servicio de la Asociación a los maestros de ciencias. Lucy apreciaría este número donde incorporamos las Ciencias Sociales al repertorio de **Acta**. El mundo científico ha cambiado radicalmente desde el 1987 y eso lo podemos validar simplemente con recordar que en el 1987, Puerto Rico aún no había recibido el embate de un huracán como Hugo y que el paso de ese huracán cambió radicalmente las investigaciones ecológicas en Puerto Rico. Más aún, en el 1987 creíamos que estábamos viviendo en la Época del Holoceno, pero hoy sabemos que vivimos en la Época de Antropoceno, lo que implica una relación distinta entre el ser humano y el resto de la naturaleza. **Acta** ocupará un sitio de servicio a la sociedad publicando artículos que nos ayuden a adaptarnos al Antropoceno.

Pronto convocaremos una reunión entre los colaboradores y amigos de **Acta** para rediseñar la revista y proyectarnos al futuro. Queremos que **Acta** se convierta en una revista electrónica con un mejor proceso para manejar manuscritos y mejorar el récord ya establecido en *Google Scholar*, donde se evidencia que artículos publicados en **Acta** son citados en la literatura científica internacional, algo que Lucy y yo no anticipamos aquella noche del 1987. Gracias a todos los que ayudaron todos estos años a mantener activa a **Acta Científica** y en particular gracias a Evelyn Pagán, Gisel Reyes y Jorge Morales de la Biblioteca Frank H. Wadsworth del Instituto Internacional de Dasonomía Tropical, quienes son los héroes anónimos detrás del éxito de **Acta**.

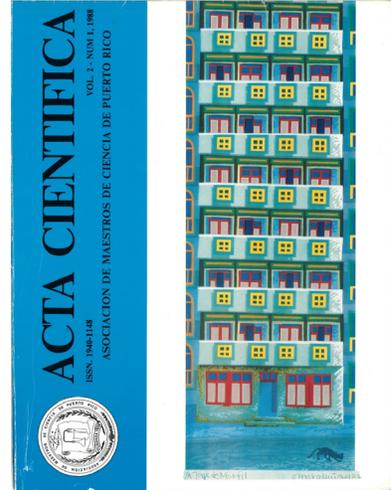
Ariel E. Lugo
Río Piedras, PR
5 de julio del 2017



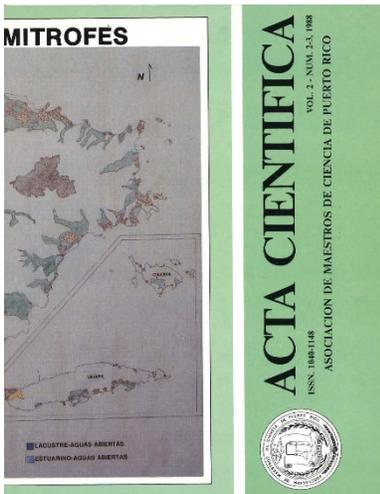
Vol. 1 No.1 1987



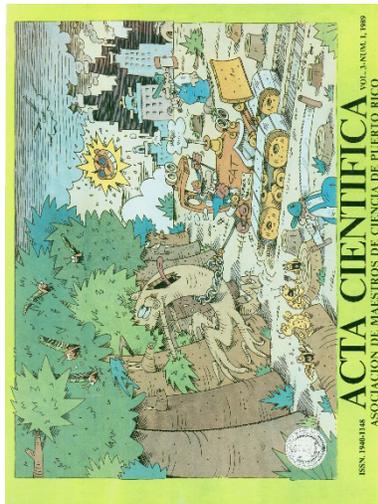
Vol. 1 Nos. 2-3 1987



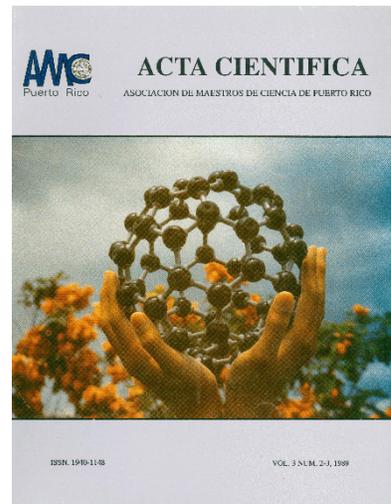
Vol. 2 No.1 1988



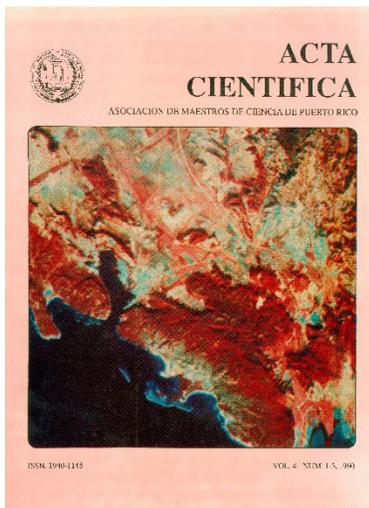
Vol. 2 Nos. 2-3 1988



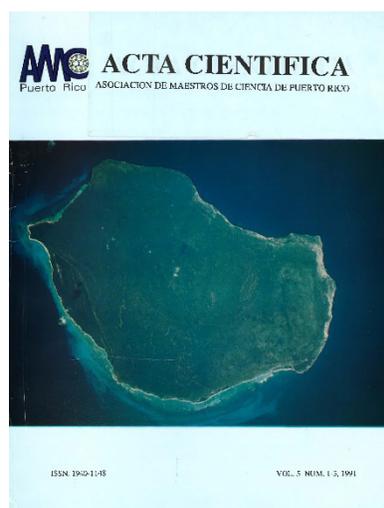
Vol. 3 No.1 1989



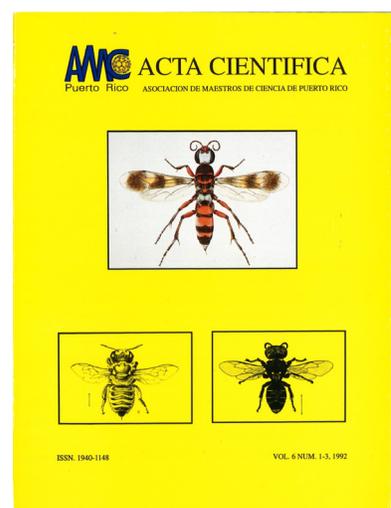
Vol. 3 Nos. 2-3 1989



Vol. 4 Nos. 1-3 1990



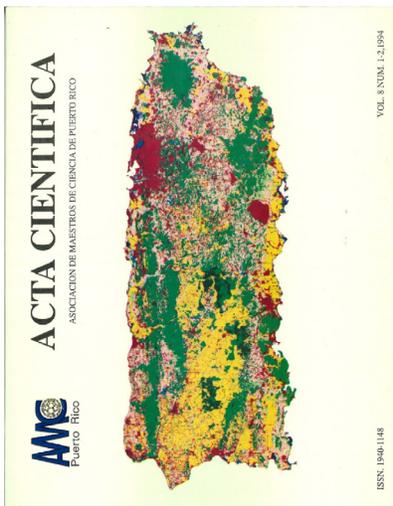
Vol. 5 Nos. 1-3 1991



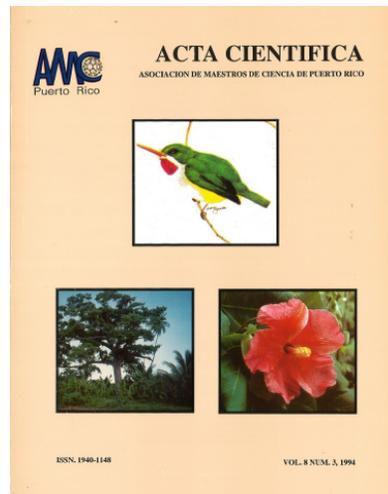
Vol. 6 Nos. 1-3 1992



Vol. 7 Nos. 1-3 1993



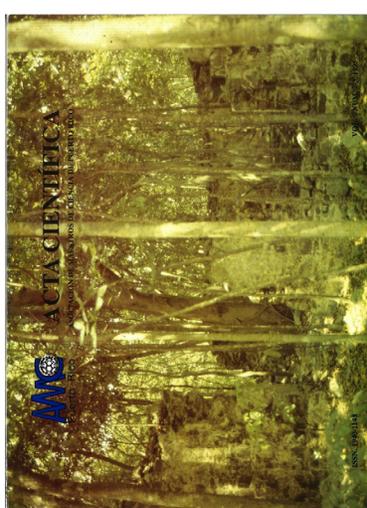
Vol. 8 Nos. 1-2 1994



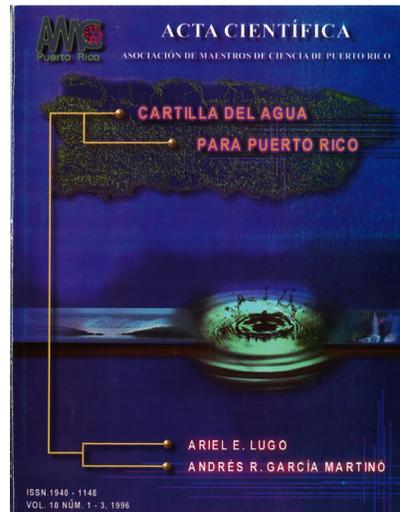
Vol. 8 No. 3 1994



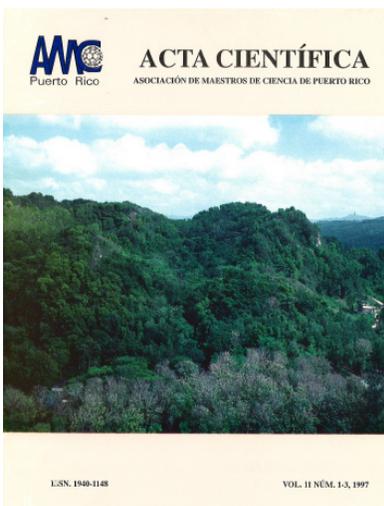
Vol. 9 No. 1 1995



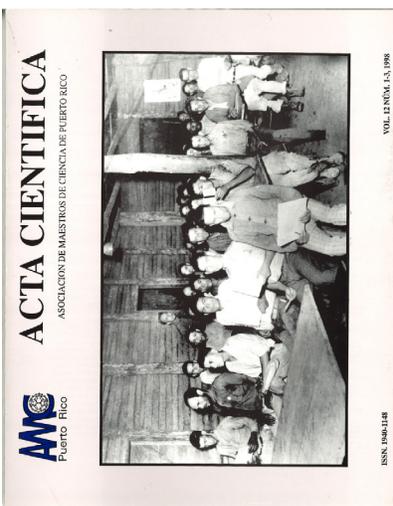
Vol. 9 Nos. 2-3 1995



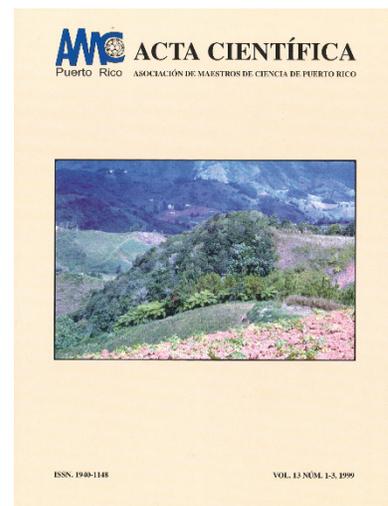
Vol. 10 Nos. 1-3 1996



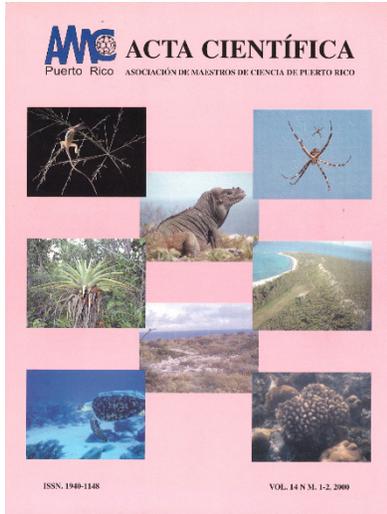
Vol. 11 Nos. 1-3 1997



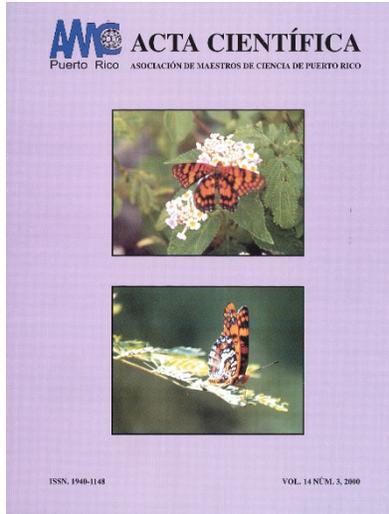
Vol. 12 Nos. 1-3 1998



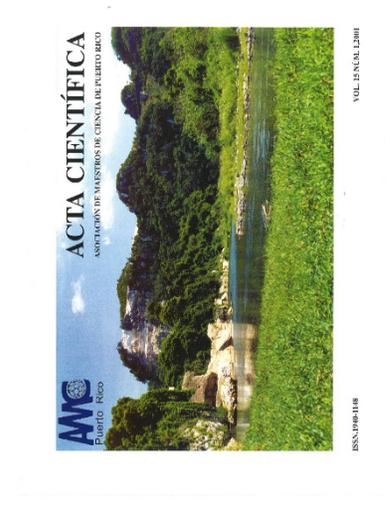
Vol. 13 Nos. 1-3 1999



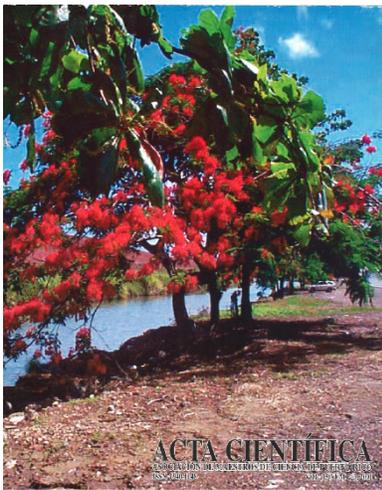
Vol. 14 Nos. 1-2 2000



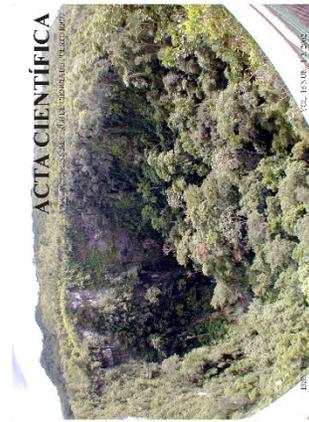
Vol. 14 No. 3 2000



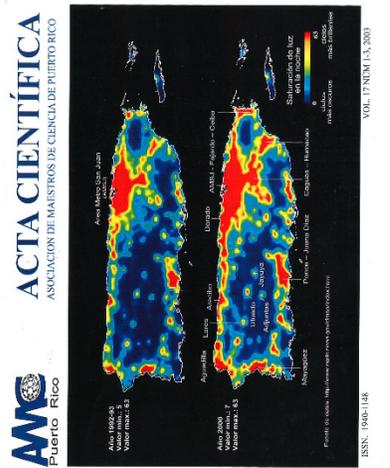
Vol. 15 No. 1 2001



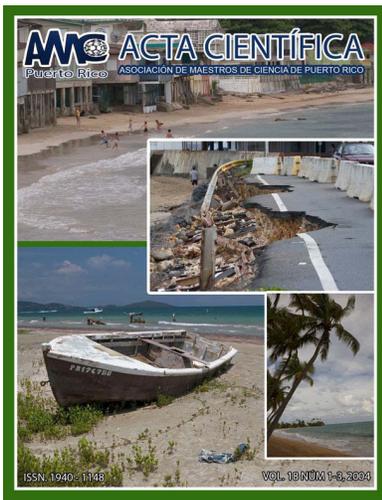
Vol. 15 No 2-3 2002



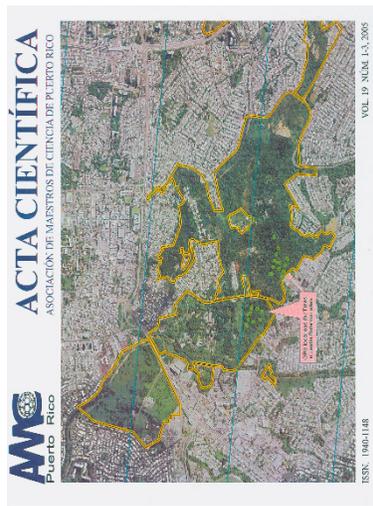
Vol. 16 Nos. 1-3 2002



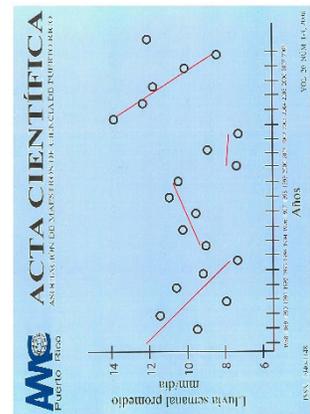
Vol. 17 Nos. 1-3 2003



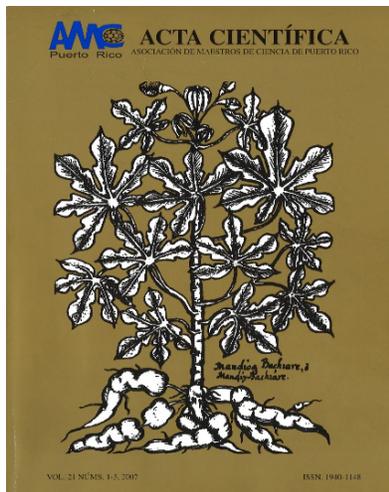
Vol. 18 Nos. 1-3 2004



Vol. 19 Nos. 1-3 2005



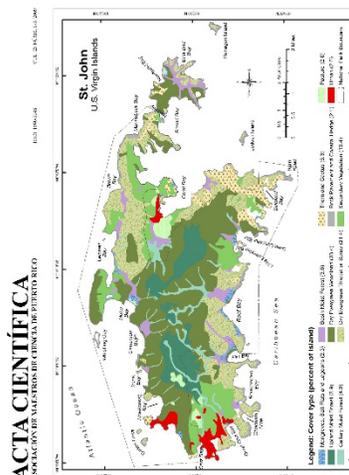
Vol. 20 Nos. 1-3 2006



Vol. 21 Nos. 1-3 2007



Vol. 22 Nos. 1-3 2008



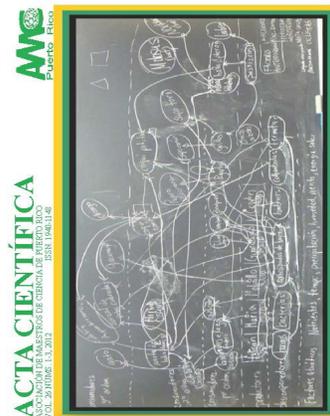
Vol. 23 Nos. 1-3 2009



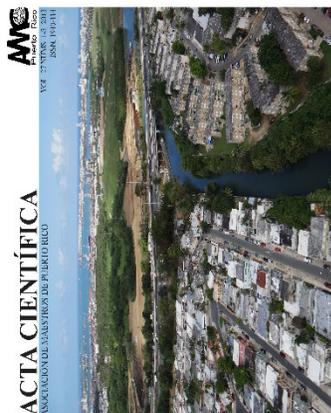
Vol. 24 Nos. 1-3 2010



Vol. 25 Nos. 1-3 2011



Vol. 26 Nos. 1-3 2012



Vol. 27 Nos. 1-3 2013



Vol. 28 Nos. 1-3 2014



Vol. 29 Nos. 1-3 2015

MEJORANDO LA EDUCACIÓN STEM A TRAVÉS DE LA INVESTIGACIÓN EDUCATIVA

Michelle Borrero¹, Milagros Bravo Vick², Marta Fortis³ y Pascua Padró Collazo⁴

¹Departamento de Biología, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras

²Center for Science and Math Education Research,
Universidad de Puerto Rico, Río Piedras

³Escuela Secundaria Universidad de Puerto Rico

⁴Facultad de Educación, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras

RESUMEN

La investigación acerca de la enseñanza y el aprendizaje estudiantil ('scholarship of teaching and learning') está centrada en una práctica docente que resulte en el mejoramiento de la enseñanza y el aprovechamiento académico de los estudiantes. El Centro para la Investigación Educativa en Ciencias y Matemáticas (CSMER, por sus siglas en inglés) fue creado en la Universidad de Puerto Rico (UPR), Recinto de Río Piedras, mediante una subvención de la Fundación Nacional de Ciencias con el objetivo de estimular la investigación educativa por maestros y profesores universitarios. En este escrito se describen las estrategias de intervención utilizadas y los resultados de la implantación de las actividades programáticas del CSMER y su impacto en: maestros de ciencias y matemáticas de los niveles 7-12; profesores adscritos a las Facultades de Ciencias Naturales, Educación, Estudios Generales y Ciencias Sociales; y estudiantes graduados de las Facultades de Educación y Ciencias Naturales. El desarrollo de maestros y profesores universitarios como investigadores en la sala de clases resulta en el desarrollo e implantación de prácticas educativas efectivas para la enseñanza de ciencias y matemáticas en los niveles K-16 y estimula el aprovechamiento académico de los estudiantes.

Palabras clave: centro de investigación educativa, educación de ciencias y matemáticas, investigación de enseñanza y aprendizaje, desarrollo profesional, niveles K-16.

ABSTRACT

The Scholarship of teaching and learning is focused on teaching practices that improve teaching effectiveness and student learning outcomes. The Center for Science and Math Education Research (CSMER) was created at the University of Puerto Rico (UPR), Rio Piedras Campus, with support from the National Science Foundation, to stimulate educational research conducted by secondary level teachers and university faculty. We describe the programmatic activities, intervention strategies and their impact on: secondary level (7-12) math and science teachers; faculty from the College of Natural Sciences, Education, General Studies and Social Sciences; and graduate students from the College of Education and the College of Natural Sciences, specifically from the Department of Environmental Sciences.

The development of teachers and faculty as researchers in their classroom results in the development and implementation of evidence-based educational practices for K-16 STEM learning and stimulate students' academic achievement.

Keywords: education research center, science and math education, scholarship of teaching and learning, professional development, K-16 level.

INTRODUCCIÓN

La investigación acerca de la enseñanza y el aprendizaje estudiantil (*'scholarship of teaching and learning'*) enfatiza el desarrollo de una práctica docente reflexiva que repercute en el mejoramiento de la enseñanza, del aprovechamiento académico de los estudiantes, y la transformación continua de la cultura y comunidad académica (National Research Council 2012). En los últimos años se ha enfatizado la importancia de investigar la enseñanza y el aprendizaje estudiantil desde la perspectiva del contenido de la disciplina concernida, lo que se conoce en inglés como *'discipline-based educational research'*, ya que cada disciplina tiene particularidades importantes al momento de trabajar los procesos de enseñanza y aprendizaje (National Research Council 2012). Es bajo este marco conceptual que surge la necesidad de proveer apoyo a maestros y profesores universitarios del área de ciencias y matemáticas para que desarrollen investigación acerca de la enseñanza y el aprendizaje estudiantil de estas disciplinas.

El Centro para la Investigación Educativa en Ciencias y Matemáticas (CSMER, por sus siglas en inglés) surge a partir de la integración de varios proyectos del área de ciencias ambientales, i.e., *Integrative Graduate Education and Research* (IGERT) y el *Center for Applied Tropical Ecology and Conservation*, con proyectos de desarrollo profesional de maestros (i.e., Alianza para el Aprendizaje de Ciencias y Matemáticas (AlACiMa) y los Programas Robert Noyce de Maestros Máster de Ciencias y de Matemáticas), apoyada por una otorgación de la National Science Foundation, a través del proyecto Maximizing

Yield Through Integration (MYTI). El CSMER provee una infraestructura de apoyo para realizar investigación educativa en el área de ciencia, tecnología, ingeniería y matemática (STEM, por sus siglas en inglés). Dos de sus metas principales son: (1) desarrollar y sostener la colaboración entre investigadores y educadores del área de STEM, y (2) aumentar la sinergia y la colaboración entre proyectos de investigación integrando las mejores prácticas educativas y la investigación para que redunde en beneficio de la educación de ciencias y matemáticas K-16.

Las actividades programáticas del CSMER se centran en el desarrollo profesional de docentes de ciencias y matemáticas a través de proyectos de investigación educativa y/o investigación acción con el objetivo de contribuir al entendimiento de cómo los estudiantes aprenden ciencias y matemáticas. El modelo básico de investigación en educación que se ha utilizado incluye: (1) desarrollar unidades instruccionales que abordan tópicos básicos de ciencias y matemáticas en el contexto de un tópico ambiental integrador pertinente a Puerto Rico (i.e., problema de desperdicios sólidos); (2) ofrecer adiestramiento y asistencia a maestros para el entendimiento e implantación de dichas unidades; (3) promover la participación de maestros en proyectos de investigación STEM en laboratorios afiliados a la UPR bajo la supervisión de investigadores y estudiantes graduados (Loucks-Horsley et al. 2003), (4) facilitar la colaboración de agencias ambientales y estudiantes graduados en la implantación de proyectos ambientales en las escuelas (i.e., actividades de alcance a la comunidad) (NMSI 2017), y (5) apoyar a los maestros al realizar investigación acción

acerca del aprendizaje estudiantil (Sagor 2011). El modelo se basa en que las prácticas efectivas que promueven que los estudiantes aprendan y deseen aprender incluyen el incrementar el conocimiento de contenido de ciencias y matemáticas y el uso de prácticas de enseñanza fundamentadas en evidencia, tal como el aprendizaje basado en proyectos (PBL, por sus siglas en inglés) y la investigación acción (Blank y Alas 2009, Kennedy 2016, Velázquez y Figarella 2012). Contrario a otros esfuerzos en que dichas prácticas educativas se implementan de modo aislado, el modelo utilizado combina las prácticas en un esfuerzo de enseñanza concertado, integrado y contextualizado (Blank y Alas 2009, Kennedy 2016). Este esfuerzo, además, conecta a la universidad con las escuelas y la comunidad en el contexto de problemas reales (Bouillon y Gómez 2001) y utiliza las escuelas como escenarios de investigación, aprendizaje y vinculación (NRC 2012).

Estrategias de Intervención

Maestros Máster de Ciencias y Matemáticas

Capacitaciones en ciencias y matemáticas. Estudiantes graduados y profesores universitarios diseñaron seis unidades instruccionales (http://alacima.uprrp.edu/Nuevo-Portal/?page_id=215) que sirvieron de base a las capacitaciones en ciencias y matemáticas enfocadas en el tema integrador de los desperdicios sólidos (Tabla 1). Profesores universitarios ofrecieron las capacitaciones a maestros máster utilizando mejores prácticas educativas (Dean et al. 2013).

Experiencia de investigación científica. Los maestros máster fueron asignados a proyectos de investigación STEM en laboratorios afiliados a la UPR donde trabajaron bajo la supervisión de investigadores y estudiantes graduados. Al finalizar dicha experiencia hicieron

presentaciones orales de las investigaciones realizadas.

Apoyo y mentoría para el desarrollo de proyectos ambientales. Maestros máster transfirieron lo aprendido en las capacitaciones a través del desarrollo de proyectos ambientales con sus estudiantes, utilizando la estrategia de PBL. Esta estrategia requirió que los maestros involucraran a sus estudiantes en los procesos de planificación e implantación de los proyectos ambientales en que integraron la ciencia y la matemática. Estudiantes graduados y otros expertos en asuntos ambientales sirvieron de mentores para el diseño y la implantación de los proyectos.

Adiestramiento y asesoría en la investigación acción. Los maestros máster participaron en actividades de desarrollo profesional con el fin de fortalecer su conocimiento acerca del proceso investigativo en la educación. Además, recibieron ayuda individualizada de parte del personal del CSMER para el diseño de sus investigaciones, instrumentos de avalúo (por ejemplo, selección y adaptación de ítems de contenido de alto nivel de pensamiento), el análisis de datos y la interpretación de los resultados. Las investigaciones en acción se enfocaron en elementos del aprendizaje estudiantil producto de la participación en los proyectos ambientales.

Profesores Universitarios

Apoyo individualizado. Personal adscrito al CSMER proveyó apoyo individualizado a profesores adscritos a la Facultad de Ciencias Naturales, Ciencias Sociales, Educación y Estudios Generales para: (1) el desarrollo de propuestas para la obtención de fondos externos, (2) realizar investigación educativa, o (3) diseñar experiencias de alcance a la comunidad (outreach). Incluyó, por ejemplo, la asesoría en el diseño y validación de instrumentos de

TABLA 1. Descripción de las unidades instruccionales que se utilizaron para el desarrollo profesional de maestros máster de ciencias y matemáticas.

Unidad	Contenido		Contexto
	Ciencias	Matemáticas	
I. Desperdicios sólidos: Introducción	materia orgánica e inorgánica; clasificación de los desperdicios sólidos; método científico	medidas estadísticas; interpretación de datos; gráficas	Composición y generación de los desperdicios sólidos
II. Desperdicios sólidos: Ciclo de la basura	almacenamiento y disposición de los desperdicios; transferencia a los vertederos; reducción; reúso; reciclaje	unidades de conversión; pendiente; funciones exponenciales; funciones lineales	Disposición de los desperdicios sólidos
III. Ciencia de la composta: preparación	descomposición de la materia; ciclo de carbono; ciclo de nitrógeno; nutrientes; factores bióticos; factores abióticos; volumen; masa; temperatura	variables y sus relaciones; funciones, construcción de graficas; análisis de gráficas	Eco-agricultura
IV. Análisis cuantitativo y cualitativo de la composta	conservación de la materia; descomposición de las plantas; análisis de carbono; pH; amonio; nitrato; nitrito	gráficas de dispersión; coeficiente de correlación; modelos matemáticos; modelo matemático no lineal; funciones	Eco-agricultura
V. Calidad del agua: problema ambiental	ciclo hidrológico; distribución del agua; percolación de lixiviados; filtración; esorrentías	gráficas circulares; pendiente de una curva de regresión lineal; medidas; interpretación de datos	Calidad del agua
VI. Análisis del agua	propiedades físicas del agua; propiedades químicas del agua; conductividad; turbidez; pH; bacteria coliforme; oxígeno disuelto	estimación; función logarítmica; exponentes; medidas; teorema de Pitágoras; razones trigonométricas	Calidad del agua

investigación, y el análisis e interpretación de datos.

Talleres de investigación. A través del CSMER se realizaron varios talleres de métodos de investigación educativa. Algunos de los temas abordados fueron: “La entrevista: una técnica para el recogido de datos”, “Análisis de datos”, y “Redacción para la publicación”. Estos talleres capacitaron a los docentes para realizar sus investigaciones educativas en ciencias y matemáticas y divulgar los resultados.

Estudiantes Graduados y Sub-graduados

Participación en el diseño de unidades instruccionales. Estudiantes graduados de la Facultad de Educación y Ciencias Naturales, especialmente del Departamento de Ciencias Ambientales, formaron parte de los grupos colaborativos que diseñaron un total de seis unidades instruccionales de ciencias y matemáticas fundamentadas en el tema integrador de los desperdicios sólidos (Tabla 1). Profesores STEM les guiaron y apoyaron durante esta labor y revisaron posteriormente las mismas.

Asesoría a maestros en temas ambientales. Estudiantes graduados del Departamento de Ciencias Ambientales, que participaban en el programa IGERT, sirvieron como asesores de contenido a los maestros máster. Esta labor la llevaron a cabo en el desarrollo de los proyectos escolares que realizaron los maestros con sus estudiantes en la sala de clases, los cuales estaban enfocados en asuntos ambientales y/o de manejo de desperdicios sólidos.

MÉTODOS

Participantes

Maestros en Servicio

Dieciocho (18) maestros certificados como maestros máster, 8 del área de ciencias y 10 de

matemáticas participaron en el proyecto. Dichos maestros enseñan en escuelas intermedias y superiores distribuidas a través de Puerto Rico.

Profesores Universitarios

Quince (15) profesores adscritos a las facultades de: Ciencias Naturales, Ciencias Sociales, Educación y Estudios Generales del Recinto de Río Piedras de la UPR, recibieron apoyo directo del CSMER para planificar y realizar investigación educativa.

Estudiantes Graduados

Catorce (14) estudiantes graduados de las facultades de: Educación, Ciencias Naturales y Ciencias Sociales del Recinto de Río Piedras de la UPR participaron. Seis de estos pertenecían al programa graduado del Departamento de Ciencias Ambientales y al Programa IGERT.

Instrumentos de Recopilación de Datos

Rúbrica de Productividad en Investigación Educativa STEM

La rúbrica fue diseñada para clasificar a los maestros y docentes universitarios en etapas progresivas de productividad en investigación educativa. La misma comienza con una etapa inicial llamada ‘Conceptualización de un proyecto de investigación’ y culmina con una etapa final denominada ‘Publicación en una revista de EEUU o internacional’. La rúbrica permite evaluar la productividad de la persona para ubicarla en la etapa más alta que haya alcanzado al realizar investigación educativa STEM con apoyo del CSMER.

Rúbrica para Evaluar Proyecto Escolar Basado en la Estrategia PBL

La rúbrica es una adaptación de una publicada por Velázquez Rivera y Figarella García (2012). Incluye ítems tales como:

(1) Tiene un contenido significativo para los/as estudiantes; directamente observable en su entorno, (2) Los/as estudiantes realizan procesos de investigación científica/matemática, (3) Fomenta la integración de las ciencias, las matemáticas y otras disciplinas, y (4) Ofrece oportunidades de retroalimentación y evaluación por parte de expertos y/o asesores. La base teórica de la rúbrica es usar la problematización para el aprendizaje. Se evaluaron las propiedades psicométricas de la rúbrica, específicamente, su validez de contenido (mediante análisis crítico), viabilidad (a través de la experiencia con su uso) y confiabilidad (acuerdo entre jueces, $r = .601$, $p < .05$)

Pruebas de Aprendizaje en Ciencias y Matemáticas

Las pruebas fueron diseñadas por profesores y estudiantes graduados de ciencias, matemáticas y educación. Fueron evaluadas para determinar en qué medida concordaban con los objetivos de las unidades y las características de aprendizaje con entendimiento (Carpenter 2004). Se encontró que la gran mayoría de los ítems de las pruebas cumplían con estos requisitos. Se administraron al comienzo y al final de las capacitaciones.

Encuesta de Prácticas Educativas y Colaboración

La encuesta se basa parcialmente en una desarrollada por el CETP *Core Evaluation* bajo el liderazgo de Frances Laurence en la Universidad de Minnesota (Lawrence et al 2002). Una sección incluye prácticas educativas basadas en evidencia que tiene dos versiones, una que inquiriere acerca de la frecuencia de uso de las prácticas en la sala de clases (para maestros y profesores universitarios), y otra que pregunta acerca del conocimiento de dichas prácticas (para estudiantes graduados). Dado el énfasis del proyecto en la investigación,

los ítems de esta sección se subdividieron en ‘mejores prácticas educativas que integran investigación’ y ‘otras mejores prácticas’. A la encuesta se le añadió una sección de colaboración pertinente a las metas del CSMER que inquiriere acerca de: (1) alianzas colaborativas, (2) sinergia y colaboración entre proyectos, (3) esfuerzos de alcance a la comunidad (outreach), (4) infraestructura institucional STEM y (5) visión global de la colaboración. Se evaluaron las propiedades psicométricas de la encuesta, específicamente: validez de contenido (mediante análisis crítico), viabilidad (experiencias positivas en la administración a grupos de participantes) y confiabilidad (altos índices de consistencia interna; Tabla 2).

RESULTADOS

Impacto en Maestros Máster de Ciencias y Matemáticas

Aprendizaje de Ciencias y Matemáticas

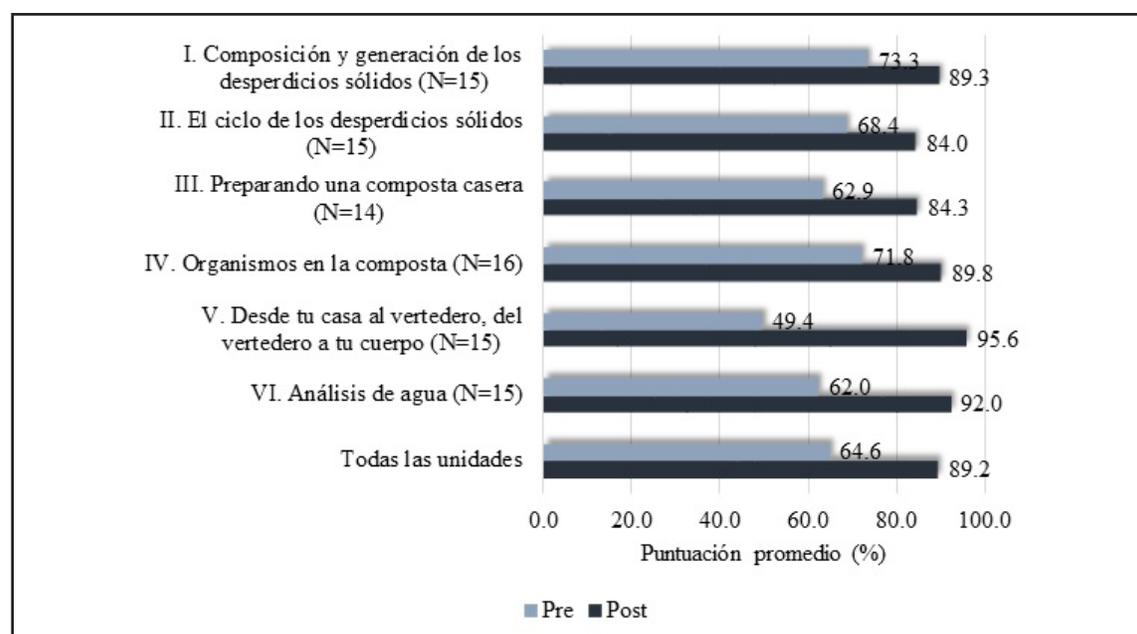
Como resultado de su participación en las capacitaciones de ciencias y matemáticas basadas en el tema integrador del manejo de desperdicios sólidos, los maestros aumentaron significativamente su conocimiento en contenido de ciencias y matemáticas (Fig. 1).

Los resultados de las pruebas administradas antes y después de cada una de las seis capacitaciones basadas en las unidades instruccionales, mostraron aumentos estadísticamente significativos en el conocimiento de los maestros ($p = .013$ o menor) del contenido de cada una de las unidades instruccionales. El aumento más alto se observó para la unidad #5 (46.2 puntos porcentuales de aumento), el más bajo para la unidad #1 (16.0 puntos porcentuales de aumento). Notablemente la unidad 5 fue la que mejor cumplió con los criterios de la rúbrica, antes mencionada, usada para evaluar la calidad

TABLA 2. Evidencia de confiabilidad de la encuesta de prácticas educativas y colaboración (* $p < .05$).

Sección	Participantes	N	Consistencia Interna (Coeficiente α)
Prácticas educativas	Maestros máster	16	0.80*
	Facultad	29	0.76*
	Estudiantes graduados	10	0.84*
	Facultad	27	0.94*
Colaboración	Decanos/directores dept.	18	0.84*
	Estudiantes graduados	8	0.93*

FIGURA 1. Comparación entre medidas pre y pos.



de las unidades instruccionales (cumplió con 90% de los criterios).

Uso de Prácticas Educativas Basadas en Evidencia

Se compararon los resultados de administraciones pre y pos prueba de la

encuesta de prácticas educativas. En ambas administraciones, a nivel de ítem, los maestros máster expresaron haber usado las mejores prácticas educativas desde ‘en ocasiones’ hasta ‘casi siempre’ (Datos no mostrados).

Se observó un aumento estadísticamente significativo (identificado usando la prueba

no paramétrica Wilcoxon para grupos dependientes) en la frecuencia de uso del agregado de los dos tipos de prácticas educativas estudiadas, en el lapso de tiempo de cuatro años entre las administraciones (Fig. 2). El aumento fue significativo específicamente en las ‘mejores prácticas educativas que integran investigación’, no en ‘otras mejores prácticas educativas’. Este hallazgo concuerda con el énfasis que el CSMER da a las prácticas educativas que integran investigación. El aumento significativo en el uso de estas prácticas de parte de los maestros de matemáticas tendió a ser mayor que el de los maestros de ciencias.

Creación de Proyectos Escolares

Los 18 maestros máster llevaron a cabo proyectos ambientales con sus estudiantes utilizando la estrategia de PBL (Tabla 3). Todos enfocaron asuntos relacionados con los desperdicios sólidos o el ambiente como el contexto de problematización de su proyecto. Se utilizó la rúbrica antes descrita para evaluar la calidad del diseño de los proyectos. Aunque

muchos maestros basaron los proyectos en temas comunes, cada uno implementó su proyecto de acuerdo a las sugerencias y contextos de sus estudiantes. Por esto se evaluó cada proyecto de manera independiente (Fig. 3).

Los resultados indican que las puntuaciones totales de la evaluación de los proyectos de los maestros fluctuaron entre 95 y 145, para un promedio general de 127.2 (de un máximo de 150). No se identificaron diferencias estadísticamente significativas, utilizando la prueba no paramétrica U Mann Whitney, entre las puntuaciones de maestros de matemáticas y de ciencias.

Una inspección de los promedios al nivel de ítem muestra que las puntuaciones fluctuaron entre 3.33 y 10, de un máximo 10 (Datos no mostrados). Los siguientes ítems recibieron las puntuaciones más altas: ‘El contenido es significativo para los estudiantes’, ‘Trabaja con un problema del mundo real’, ‘La investigación es de primera mano’, y ‘Es sensible a la cultura local’. Estos resultados sugieren

FIGURA 2. Comparación de la frecuencia de uso.

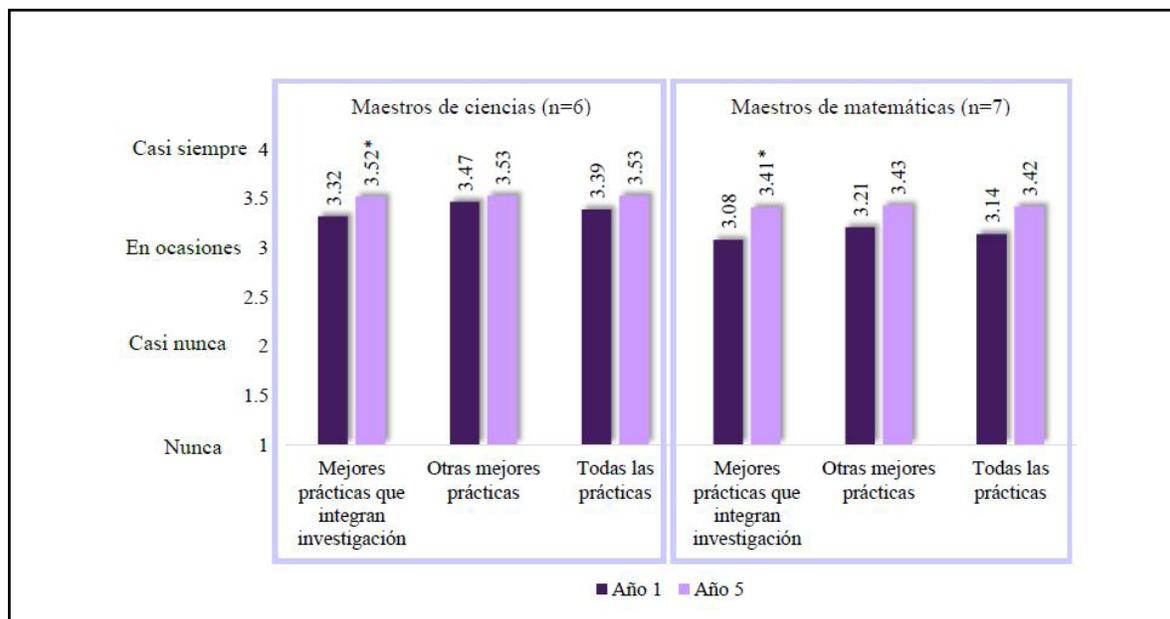
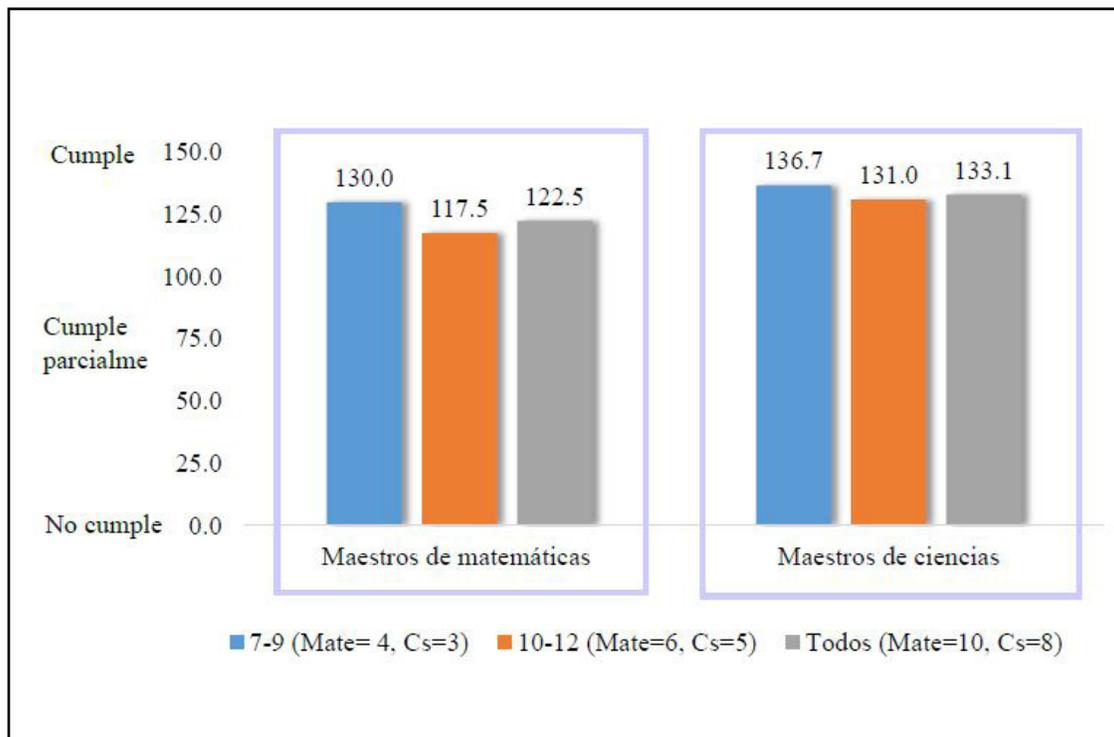


TABLA 3. Proyectos realizados por los maestros máster de ciencias y matemáticas (Mate) y sus estudiantes.

Maestro	Disciplina	Escuela	Pueblo	Título del Proyecto
1	Mate	Sor Isolina Ferré	Ponce	Estudiando el problema de desperdicios sólidos en restaurantes de comida rápida en Puerto Rico
2	Mate	SU Eugenio María de Hostos	Cayey	
3	Mate	Juan Quirindongo Morell	Vega Baja	<i>Cero Desperdicios:</i> Reduciendo la cantidad de desperdicios sólidos (botellas plásticas) para proteger el ambiente
4	Mate	Francisco A. Garcia Boyrié	Guayama	
5	Ciencia	Especializada Brígida Álvarez Rodríguez	Vega Baja	
6	Ciencia	Julián Blanco	Guaynabo	La divulgación ambiental para analizar el impacto ambiental (paisaje natural) de nuestra comunidad (El Pedregal)
7	Ciencia	Central Especializada Artes Visuales	San Juan	Estudio hidrológico en Quebrada Juan Méndez at Río Piedras
8	Ciencia	Alberto Meléndez	Orocovis	Desarrollo potencial de la agricultura en áreas urbanas del Municipio de Orocovis
9	Mate	José Rojas Cortés	Orocovis	
10	Mate	Eugenio María de Hostos	Mayagüez	Reducción de desperdicios sólidos:
11	Mate	Dr. Carlos González	Aguadilla	Estudiando la generación de desperdicios sólidos y divisoando formas para reducirlo
12	Ciencia	Juan D. Stubbe	Caguas	Desarrollo de alternativas para reducir la cantidad de desperdicios sólidos generados por estudiantes de escuelas públicas en cuatro áreas geográficas de Puerto Rico
13	Ciencia	Generoso E. Morales	San Lorenzo	
14	Ciencia	Catalina Morales de Flores	Moca	
15	Ciencia	Francisco Gaztambide Vega	Bayamón	
16	Mate	Carmen L. Feliciano Carreras	Río Grande	Impacto de desperdicios sólidos en nuestra comunidad: El volumen y el área de superficie que ocupa
17	Mate	Nueva Intermedia Piletas	Lares	
18	Mate	Jose Santos Alegría	Dorado	

FIGURA 3. Resultados de la evaluación de los proyectos.



que los maestros captaron e implementaron efectivamente varios elementos claves de la estrategia de PBL.

Desarrollo de una Investigación Acción Acerca del Aprendizaje Estudiantil

Diecisiete de los 18 maestros máster llevaron a cabo una investigación en acción en sus salas de clase para estudiar el efecto de la implantación de los proyectos escolares en el aprendizaje de sus estudiantes (Tablas 4 y 5). La mayoría de los maestros usaron el diseño pre-experimental de pre y pos prueba, pero algunos añadieron un grupo de comparación para cumplir con los requisitos de un diseño cuasi-experimental. Los maestros de matemáticas examinaron el aprendizaje estudiantil en conceptos como: medidas, funciones exponenciales, análisis de datos, estadística, y probabilidad (Tabla 4). Los proyectos de los maestros de ciencias

enfocaron aprendizaje en contenidos tales como: conservación y cambio, modelos y sistemas, energía, y naturaleza de la ciencia (Tabla 5). La mayoría de las investigaciones identificaron un aumento significativo en el aprendizaje de los estudiantes (Datos no mostrados).

Productividad en Investigación Educativa STEM

Para medir la productividad en investigación educativa de los maestros máster clasificamos sus logros en etapas progresivas de productividad (Tabla 6). Las etapas fueron desarrolladas siguiendo las pautas provistas por el Dr. Rory Fraser, miembro del Comité Asesor de I³-MYTI. Los datos muestran que, en un periodo de cuatro años, todos lograron alcanzar etapas avanzadas desde 'Presentación en una conferencia nacional o internacional'

TABLA 4. Investigaciones en acción del aprendizaje estudiantil resultado de la participación en proyectos ambientales realizados por maestros de matemáticas.

Maestro	Nivel de Enseñanza	Título del Proyecto	Diseño de Investigación	Contenido Estudiado e Investigado
1	7-9	Estudiando el problema de desperdicios sólidos en restaurantes de comida rápida en Puerto Rico	Pre-experimental: Pre/pos	Análisis de datos y probabilidad: tendencia central y medidas de dispersión.
2	10-12			Estadística y probabilidad: Frecuencia, tendencia central, medidas de dispersión y su representación gráfica.
3	7-9	Impacto de desperdicios sólidos en nuestra comunidad: El volumen y el área de superficie que ocupa	Cuasi-experimental: Pre/pos con grupo de comparación	Medición: Perímetro, área, volumen de figuras geométricas de dos y tres dimensiones.
4	7-9			Geometría: Modelos bi-dimensionales de figuras geométricas tridimensionales.
5	10-12			Medición: Formulas de área y volumen. Medición: Volumen de figuras geométricas tridimensionales.
6	7-9	Cero Desperdicios: Reduciendo la cantidad de desperdicios sólidos (botellas plásticas) para proteger el ambiente	Pre-experimental: Pre/pos	Análisis de datos y probabilidad: tendencia central y gráficas.
7	10-12			Análisis de datos y probabilidad: diagramas de dispersión y patrones de asociación lineal (correlación y regresión).
8	10-12	Reducción de desperdicios sólidos: Estudiando la generación de desperdicios sólidos y divisiando formas para reducirlo	Pre-experimental: Pre/pos	Análisis de datos y probabilidad: diagramas de dispersión y patrones de asociación lineal (correlación y regresión).
9	10-12			
10	10-12	Agro-STEM: Desarrollo potencial de la agricultura en áreas urbanas del Municipio de Orocovis	Pre-experimental: Pre/pos	Funciones exponenciales: Modelos lineales y exponenciales, line de mejor ajuste.

TABLA 5. Investigaciones en acción del aprendizaje estudiantil resultado de la participación en proyectos ambientales realizados por maestros de ciencias.

Maestro	Nivel de Enseñanza	Título del Proyecto	Diseño de Investigación	Contenido Estudiado e Investigado
1	7-9	Educa, actúa y vive: Desarrollo de alternativas para reducir la cantidad de desperdicios	Cuasi-experimental: Pre/pos con grupo de comparación	Energía e interacciones: ciclos de carbón y nitrógeno
2	7-9	sólidos generados por estudiantes de escuelas públicas en cuatro áreas geográficas de Puerto Rico	Pre-experimental: Pre/pos	Conservación y cambio: protección de los recursos naturales
3	10-12			Conservación y cambio: Cambios químicos y físicos en el nivel macro
4	10-12			Energía: materia orgánica, biomasa, bioenergía, energía renovable, energía recuperable, biogás.
5	10-12	Estudio hidrológico en Quebrada Juan Méndez at Río Piedras	Pre-experimental: Pre/pos	Sistemas y modelos: Energía: ciclo de agua, calidad de agua, parámetros físicos y químicos relacionados, contaminación de agua por desperdicios sólidos.
6	10-12	La divulgación ambiental para analizar el impacto en el paisaje natural de la Comunidad El Pedregal	Pre-experimental: Pre/pos	Naturaleza de la ciencia, tecnología y sociedad: acciones humanas en el ambiente, urbanismo, conservación ambiental. Análisis de datos y probabilidad: Representaciones graficas a escala
7	10-12	Desarrollo potencial de la agricultura en áreas urbanas del Municipio de Orocovis	Cuasi-experimental: Pre/pos con grupo de comparación	Sistemas y modelos: reciclaje orgánico, ciclos biogeoquímicos, cadena alimentaria.

(etapa #8) a ‘Publicación en una revista de EEUU o internacional’ aun cuando muchos comenzaron en la etapa inicial (Conceptuación del proyecto de investigación’). En conjunto, los 17 maestros que permanecieron en el proyecto avanzaron 119 etapas, es decir, aproximadamente 7 etapas por participante. Este avance es el resultado de la labor conjunta de los proyectos Robert Noyce para maestros master y las actividades apoyadas directamente por MYTI en el CSMER.

Impacto en Profesores Universitarios

Productividad en Investigación Educativa STEM

Un total de 12 profesores universitarios recibieron apoyo para hacer investigación en educación STEM. Las investigaciones fueron clasificadas en las etapas progresivas de productividad en investigación educativa ya antes presentadas (Tabla 7). Los resultados demuestran que dichas investigaciones se encuentran en distintas etapas y se enfocan en distintos aspectos de los procesos de aprendizaje en ciencias y matemáticas de los estudiantes. La productividad de los facultativos está dispersa entre varias de las etapas desde la etapa inicial (‘Conceptualización del proyecto de investigación’) hasta etapas avanzadas (‘Publicación en revista local’). Los datos indican que, en conjunto, los facultativos avanzaron 56 etapas, para aproximadamente 5 etapas por facultativo. Se observa que algunos (4) profesores se han quedado en etapas iniciales avanzando muy poco (0 o 1 etapa) pero el resto (8) han avanzado a etapas intermedias o avanzadas teniendo un avance moderado (3 o 5 etapas) o amplio (de 6 a 10 etapas). Entendemos que ello es evidencia de que el apoyo del CSMER está contribuyendo significativamente al progreso de un buen número de facultativos en su labor investigativa en educación STEM.

Uso de Prácticas Educativas Basadas en Evidencia

Se compararon los resultados de administraciones pre y pos prueba de la encuesta de prácticas educativas a los profesores universitarios. Para ambas administraciones, los profesores reportaron usar las mejores prácticas educativas desde ‘casi nunca’ hasta ‘casi siempre’ (Fig. 4).

No se encontraron diferencias significativas, examinadas usando la prueba Wilcoxon para grupos dependientes, al comparar los resultados preprueba (año 1) y posprueba (año 5) del estudio de panel, es decir, el que incluye los profesores que contestaron la encuesta en ambas ocasiones. En el estudio de tendencia, que incluye los grupos de personas que contestaron la encuesta en cada administración, no se realizaron pruebas estadísticas debido a que los grupos no son completamente independientes pues incluyen profesores que contestaron en ambas ocasiones (visualmente tampoco se observan diferencias). Esto indica que no hubo cambios en la frecuencia de uso de las prácticas estudiadas en este caso. Ello puede deberse a que en el caso de los profesores los servicios que le ofreció el CSMER fueron relacionados exclusivamente a la investigación educativa STEM no a prácticas educativas específicas, como en el caso de los maestros.

Colaboración

Las metas del CSMER, como viéramos antes, enfocan la colaboración en la institución. En la encuesta administrada se incluyó una sección con 10 ítems para estudiar este aspecto. En el periodo de cuatro años estudiado, la facultad participante no percibió cambio en la mayor parte de dichos elementos (Datos no mostrados). No obstante, si informó percibir cambios positivos y significativos respecto a tres elementos asociados a: alianzas colaborativas, sinergia y colaboración entre proyectos, e

TABLA 6. Etapas de productividad investigativa en educación de ciencias y matemáticas (mate) de maestros máster luego de participar en el *Center for Science and Math Education Research*.

Etapa (Número y Descripción)	Núm. Maestros	Disciplina/Nivel	Etapa Inicial	# Etapas Avanzadas
1. Conceptualización del proyecto de investigación	0			
2. Presentación de la propuesta	0			
3. Recogido de datos	0			
4. Análisis de datos	0			
5. Presentación preliminar de hallazgos (en el CSMER)	0	Todos los maestros máster superaron estas etapas		
6. Someter un borrador a una conferencia local o externa	0			
7. Presentación en una conferencia local	0			
8. Presentación en un conferencia nacional o internacional	1	Ciencia/7-9	5	3
	2	Ciencia/10-12	1	7
	1	Mate/7-9	5	3
	1	Mate/7-9	1	7
	2	Mate/10-12	1	7
	1	Mate/10-12	5	3
	1	Mate/10-12	7	1
9. Someter artículo para publicación	1	Ciencia/10-12	1	7
	1	Mate/10-12	1	7
10. Aceptación para publicación de artículos	0	Ningún maestro está en esta etapa		
11. Publicación en revista local	1	Ciencia/7-9	5	6
	1	Ciencia/10-12	1	10
12. Publicación en revista EEUU o internacional	1	Ciencia/9-12	1	11
	1	Mate/7-9	1	11
	2	Mate/10-12	1	11
Total	17	---	---	119¹

En conjunto, los 17 maestros máster avanzaron 119 etapas; aproximadamente 7 etapas por participante.

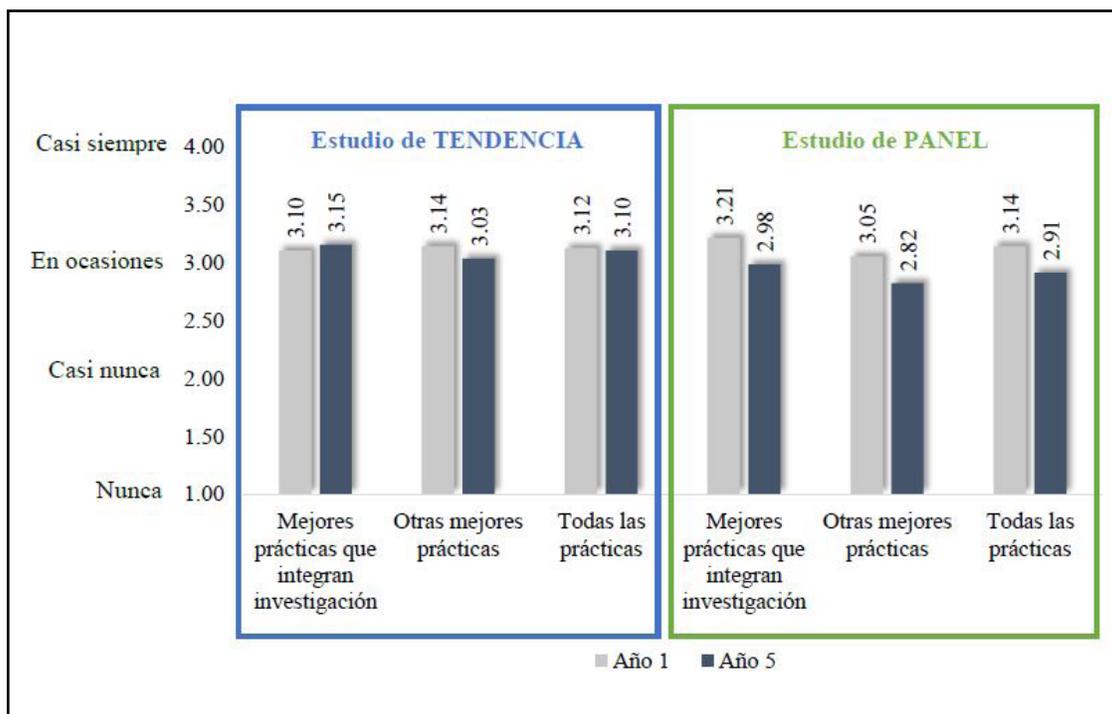
TABLA 7. Etapas de productividad investigativa en educación de ciencias y matemáticas de profesores. (Biol.= Biología, Cs. Biol.= Ciencias Biológicas, Psic = Psicología, Quim= Química, UHS = *University High School*).

Etapas (Número y Descripción)	n	Departamento	Título/Tema de Investigación	Etapas Inicial	# Etapas Avanzadas
1. Conceptualización del proyecto de investigación	1	Cs. Biol.	El cine para el desarrollo de conocimiento biológico	1	0
2. Presentación de la propuesta	0			Ningún facultativo se encuentra en estas etapas	
3. Recogido de datos	0				
4. Análisis de datos	2	Biol.	Animación para el entendimiento conceptual de las ciencias	3	1
		UHS Quím.	Prácticas para minimizar el impacto ambiental de los desperdicios sólidos	1	3
5. Presentación preliminar de hallazgos (en el Centro)	2	Biol.	Efecto de experiencias investigativas en el aprendizaje y las creencias epistemológicas de los estudiantes	4	1
		Cs. Biol.	Temas socio-científicos para el aprendizaje estudiantil	4	1
6. Someter borrador a conferencia local o externa	0			Ningún facultativo se encuentra en esta etapa	
7. Presentación en una conferencia local	1	Física	Validación de un examen de laboratorio departamental (Presentado en el XII Congreso de Investigación Educativa. Marzo 2013, Universidad de Puerto Rico)	1	6
8. Presentación en un conferencia nacional o internacional	0			Ningún facultativo se encuentra en esta etapa	

TABLA 7. Etapas de productividad investigativa en educación de ciencias y matemáticas de profesores. (Biol.= Biología, Cs. Biol.= Ciencias Biológicas, Psic = Psicología, Quim= Química, UHS = *University High School*). (continuación).

Etapas (Número y Descripción)	n	Departamento	Título/Tema de Investigación	Etapas Inicial	# Etapas Avanzadas
9. Someter artículo para publicación	4	Biol.	Experiencias de investigación auténticas: Alianza entre la universidad y la escuela (Sometido a la revista en-línea Journal of Science Education)	1	8
		Psic.		1	8
		Quím.		3	6
		Biol.		4	5
10. Aceptación para publicación de artículos	0			Ningún facultativo se encuentra en esta etapa	
11. Publicación en revista local	2	Cs. Biol.	Integración de competencias informativas al currículo: Assessment en un curso de cs. biol. (Publicado en la <i>Revista Umbral</i> #9, Verano, 2014; 9:161-183; ISSN 2151-8386)	1	10
		Cs. Biol.		4	7
12. Publicación en revista nacional o internacional	0			Ningún facultativo ha alcanzado este nivel	
Totales		12			56 ¹

En conjunto, los 12 facultativos avanzaron 56 etapas, 4.7 etapas por facultativo.

FIGURA 4. Frecuencia de uso de las mejores prácticas.

infraestructura institucional STEM (Tabla 8). Estos resultados sugieren que el CSMER ha tenido alguna influencia positiva en aspectos asociados a la colaboración, especialmente aquellos relacionados con el compromiso de la facultad hacia la misma.

Impacto en Estudiantes Graduados

Conocimiento de Prácticas Educativas Basadas en Evidencia

Dos grupos distintos de estudiantes graduados participaron en el proyecto realizando las siguientes tareas en años sucesivos: (1) diseñar unidades y (2) asesorar maestros en proyectos ambientales. Nuestros resultados demuestran que los estudiantes que diseñaron las unidades instruccionales obtuvieron una ganancia estadísticamente significativa en el conocimiento de prácticas educativas efectivas (Fig. 5). Sin embargo,

los que participaron como asesores de maestros en los proyectos ambientales (Grupo 2), aunque mostraron aumentos en esa dirección, especialmente respecto a prácticas educativas que integran la investigación y las mejores prácticas, no resultaron estadísticamente significativos (datos no presentados).

Estos hallazgos indican que el conocimiento de los estudiantes graduados acerca de las mejores prácticas educativas aumentó significativamente como resultado de haber participado en el diseño de unidades instruccionales para el aprendizaje ciencia y matemática usando el manejo de desperdicios sólidos como tema integrador. Por otro lado, los estudiantes graduados que participaron como asesores de maestros máster en el desarrollo de proyectos ambientales no exhibieron aumentos de tal dimensión.

TABLA 8. Percepción de la facultad de elementos colaborativos en la institución.

Descripción	Estudio de Tendencia ¹		Estudio de Panel ²			
	Año 1	Año 5	Año 1	Año 5	Diff. Año 5 - Año 1	
	(n=29)	(n=31)	(n=18)	(n=18)	z ³	p
Alianzas colaborativas:						
Compromiso de la facultad a realizar trabajo colaborativo entre investigadores y educadores STEM	1.55 (1.02)	2.30 (0.88)	1.72 (0.89)	2.33 (0.77)	1.923	0.054*
Infraestructura STEM:						
Fortaleza de la infraestructura de investigación en la educación STEM	1.48 (0.94)	1.93 (0.70)	1.47 (0.83)	2.00 (0.65)	2.126	0.033*
Sinergia y colaboración:						
Compromiso de la facultad para realizar trabajo colaborativo entre proyectos que reciben fondos externos	1.30 (1.20)	2.17 (1.09)	1.50 (1.15)	2.25 (1.00)	2.230	0.026*

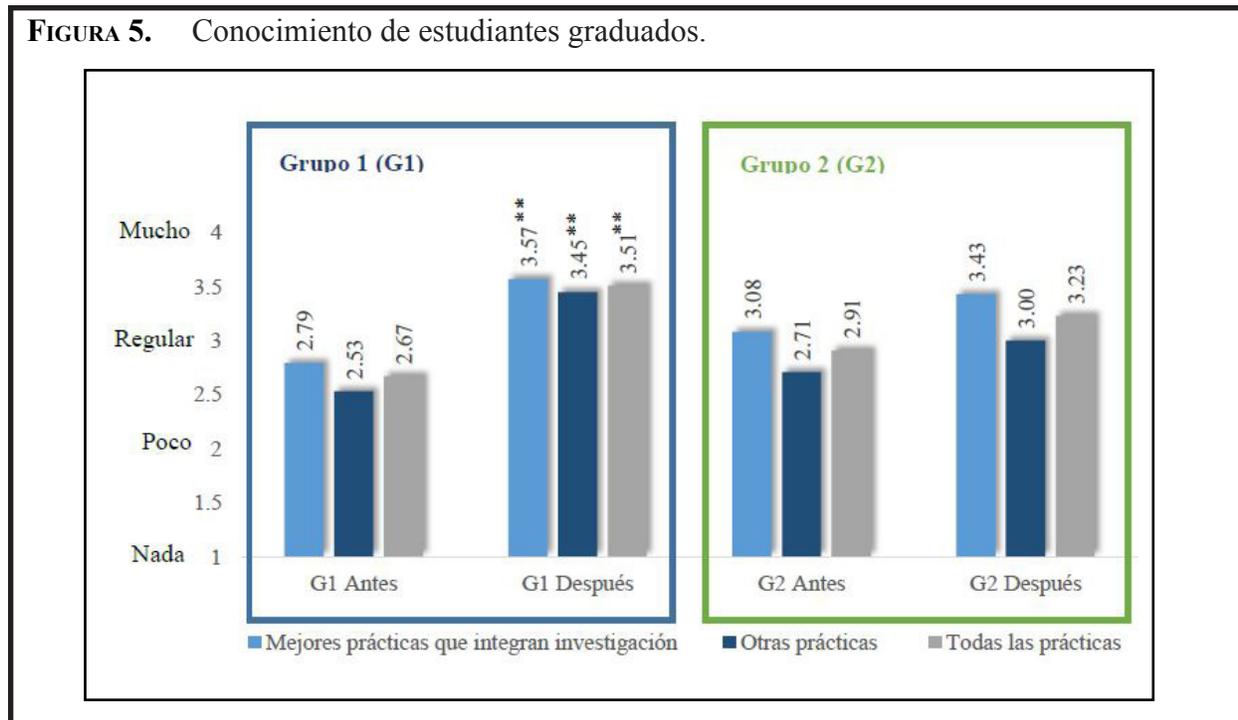
¹ Incluye los grupos de personas que contestaron la encuesta en cada administración.

² Personas que contestaron la encuesta tanto en el año 1 como en el año 5.

³ La prueba Wilcoxon para grupos dependientes se usó para comparar los puntajes del estudio de panel. No se realizó prueba estadística para comparar los grupos del estudio de tendencia ya que los grupos no ni completamente independientes ni dependientes. * p<.05; ** p<.01; *** p<.001

Formato de respuesta- 0: Inexistente, 1: Pobre, 2: Regular, 3: Buena, 4: Excelente.

FIGURA 5. Conocimiento de estudiantes graduados.



CONCLUSIÓN

El establecimiento de un Centro, ‘*Center for Science and Math Education Research*’, dedicado a apoyar y fomentar la investigación educativa en Ciencias y Matemáticas ha sido efectivo en fomentar la incursión y desarrollo de docentes como investigadores en el continuo K-16. Los maestros participantes del desarrollo profesional provisto por el CSMER, con un enfoque en la transferencia utilizando PBL e investigación acción, aumentaron su conocimiento en contenido de matemáticas y ciencias, y aumentaron su utilización de estrategias y prácticas educativas que integran investigación. Más aún en términos de su desarrollo como investigadores, lograron alcanzar el nivel de presentación en conferencias nacionales o internacionales. De otra parte, el apoyo del CSMER a los profesores universitarios ha facilitado que estos también se desarrollen como investigadores en educación STEM. El desarrollo de maestros y docentes universitarios como investigadores en la sala de clases estimula el desarrollo y la implantación de prácticas educativas efectivas para el aprendizaje de ciencias y matemáticas en los niveles K-16 que a su vez resulta en el mejoramiento del aprovechamiento académico de sus estudiantes.

AGRADECIMIENTOS

Reconocemos al Centro de Investigación Educativa en Ciencias y Matemáticas (CSMER, por sus siglas en inglés y financiado por la Fundación Nacional de Ciencias – NSF #1038166) y al personal de apoyo y administrativo por su dedicación para alcanzar las metas establecidas en el proyecto.

REFERENCIAS

Blank, R., y N. Alas. 2009. Effects of teacher professional development on gains in student achievement. How meta-analysis provides scientific evidence useful

to education leaders. The Council of Chief State School Officers, Washington, DC. Retrieved from http://www.ccsso.org/Documents/2009/Effects_of_Teacher_Professional_2009.pdf

Bouillon, L.M., y L.M. Gomez. 2001. Connecting school and community with science learning: real world problems and school-community partnerships as contextual scaffolds. *Journal of Research in Science Teaching*, 38:878-898.

Carpenter, T.P., M.L. Blanton, P. Cobb, M.L. Franke, J. Kaput, y K. McClain. 2004. Scaling up innovative practices in mathematics and science. National Center for Improving Student Learning and Achievement in Mathematics and Science. Wisconsin Center for Education Research, Madison, WI.

Dean, C.B., E. Ross-Hubbel, H. Pitler, y B.J. Stone. 2013. Classroom instruction that works: Research-based strategies for increasing student achievement. Segunda edición. ASCD, Alexandria, VA.

Kennedy, M.M. 2016. How does professional development improve teaching? *Review of Educational Research*, 86:945-980.

Lawrence, F., D. Huffman, y K. Appeldoorn. 2002. CETP Core Evaluation. University of Minnesota: The College of Education and Human Development. <http://www.cehd.umn.edu/carei/cetp/Instruments.html>

Loucks-Horsley, S., N. Love, K.E. Stiles, S. Mundry, y P. W. Hewson. 2003. Designing professional development for teachers of science and mathematics. Second edition. Corwin Press, California, EEUU.

National Math and Science Initiative (NMSI). 2017. The STEM Crisis. Retrieved from <https://www.nmsi.org/AboutNMSI/TheSTEMCrisis.aspx>

National Research Council. 2012. Discipline-based education research: Understanding and improving learning in undergraduate science and engineering.

- S.R. Singer, N.R. Nielsen, and H.A. Schweingruber, editors. Committee on the Status, Contributions, and Future Directions of Discipline-Based Education Research. Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. The National Academies Press, Washington, DC.
- Preskill, H.S., y R.T. Torres. 1998. Evaluative inquiry for learning in organizations. Sage Publications, Inc., Thousand Oaks, CA.
- Sagor, R.D. 2011. The action research guidebook: A four-stage process for educators and school teams. Corwin Press. SAGE Publications, Estados Unidos.
- Velázquez Rivera, L., y F. Figarella García. 2012. La problematización en el aprendizaje: Tres estrategias para la creación de un currículo auténtico. Isla Negra Editores, San Juan, PR.

**EDUCACIÓN AMBIENTAL INFORMAL:
UN MODELO PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO EN LAS PRUEBAS
PUERTORRIQUEÑAS DE APROVECHAMIENTO ACADÉMICO**

Sandra M. Del Río Joglar¹, Michelle Borrero^{2,3} y Jorge Rodríguez Lara³

¹Departamento de Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, PO Box 70377 San Juan, PR 00936-8377

²Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, PO Box 23360 San Juan, PR 00931-3360

³Center for Science & Math Education Research, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, PO Box 22918, San Juan, PR 00931-2918

RESUMEN

Este estudio examina el efecto de la educación ambiental informal, mediante la participación de un grupo de escuelas registradas en el Programa de Escuelas Sustentables (PES) de la Corporación para la Sustentabilidad Ambiental (COSUAM) de Puerto Rico, en el aprovechamiento académico de los estudiantes de escuela superior. Para realizar el análisis, las escuelas se categorizaron de acuerdo a su nivel de participación en el programa. Se espera que aquellas escuelas categorizadas como “muy activas” obtengan unos resultados de crecimiento académico en las Pruebas Puertorriqueñas de Aprovechamiento Académico (PPAA) del año académico (2014-2015) mayor que aquellas escuelas que no son tan activas. El estudio se realizó con datos ya existentes que incluyen los resultados de las pruebas estandarizadas (PPAA) e información general de las escuelas que son datos públicos disponibles en la página electrónica del Departamento de Educación de Puerto Rico, y la información facilitada por el director del PES. Los resultados de este estudio identificaron una *tendencia moderadamente significativa* para el incremento en el aprovechamiento académico de ciencias con el nivel de participación de las escuelas en el programa. Los resultados también demostraron que existe una relación negativa significativa entre el porcentaje de clases de ciencias atendidas por maestros altamente cualificados, la tasa de graduación y el incremento en el aprovechamiento académico en ciencias. Las contribuciones principales de este estudio preliminar fueron dos: establecer una relación entre el aprovechamiento académico y este programa de educación ambiental informal y establecer una rúbrica para categorizar a las escuelas y darle una gradación en función de su participación en el programa PES. Se enfatiza la necesidad de que se realicen más estudios de este tipo con más escuelas (públicas, privadas y de distintos niveles) y con otros programas de educación ambiental para profundizar más en el tema.

Palabras clave: educación ambiental, aprovechamiento académico, pruebas estandarizadas, programa escuelas sustentables, educación ambiental informal.

ABSTRACT

This study's aim is to examine the effect of informal environmental education, through participation in the *Programa de Escuelas Sustentables – PES* (Sustainable School Program) of the non-profit organization COSUAM of Puerto Rico, in the academic achievement of high schools students. The analysis was conducted through the development of a scale that allowed the classification of the schools according to their participation in the program. It is expected that schools categorized as “very active” will obtain a higher academic achievement score in the *Pruebas Puertorriqueñas de Aprovechamiento Académico* (PPAA) standardized tests of the academic year 2014-2015 than the schools that were not so active. Pre-existing data were used for this study, including the results of the standardized tests (PPAA) and general information about the schools, which are public records available to through the Department of Education's website, and the information facilitated by the PES program's director. The results of this study show that there is a *moderately significant tendency* for the increase of academic achievement of science with the level of participation of the schools in the program. Results also demonstrate that there is a significant negative relation between percentage of science classes attended by highly qualified teachers, graduation rate, and increase in academic achievement in science. This preliminary study had two principal contributions: establishing a relationship between academic achievement and this informal environmental education program, and establishing a rubric to categorize schools and give them a gradation as a function of their participation in the program. It is emphasized that more studies of this kind are necessary, with more schools (public, private, and different grades) and with other environmental education programs, to further examine this topic.

Keywords: environmental education, academic achievement, standardized tests, informal environmental education.

INTRODUCCIÓN

El educador David Orr indicó que toda educación es educación ambiental y, dependiendo de lo que se incluya o se excluya, les enseñamos a los estudiantes que son parte o no del mundo natural. La educación ambiental es única y compleja ya que incorpora varias materias como las ciencias naturales, ciencias sociales y la ética. En 1969, Stapp et al. definió la educación ambiental como el estar consciente del ambiente biofísico y sus problemas, saber cómo resolver estos problemas y estar motivado para solucionarlos. En la Conferencia Intergubernamental de Tbilisi celebrada en el 1977 se definió como una educación de toda la vida y que no debe mantenerse confinada dentro

del sistema de educación formal (UNESCO 1977) que consiste en fomentar el conocimiento y el interés por la interdependencia económica, social, política y ecológica en áreas rurales y urbanas. Igualmente, y como indican varios estudios, la educación ambiental puede reforzar el aprovechamiento académico en materias tales como las matemáticas, ciencias sociales, gramática y lectura (Bartosh 2003, Lieberman et al. 1998, Monroe et al. 2001 SEER 2005). Asimismo, organizaciones no gubernamentales de investigación (NRC 2009) indican que la educación informal tiene un efecto significativo en la formación de los estudiantes, especialmente en los campos de ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (conocidos como campos STEM).

A través de los años se han visto los intentos de impulsar la educación ambiental en todas las escuelas del mundo. En 1972 se llevó a cabo en Estocolmo la Primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente Humano donde la ONU reconoció que es necesario el desarrollo de una nueva ética ambiental que fomente un desarrollo económico, pero que al mismo tiempo se conserve el medioambiente (Departamento de Educación de P.R. 2003). Luego, en 1975 se comenzó el Programa Internacional de Educación Ambiental. En 1977 se celebró la Conferencia Intergubernamental de Tbilisi en la cual se redactó el Tratado de Educación Ambiental, estableciendo así las bases de este movimiento (Dpto. de Educación de PR 2003). Luego, en 1992, en Río de Janeiro, se lleva a cabo la Segunda Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo donde se insiste en la necesidad de incorporar la educación ambiental en todas las naciones. Igualmente, en esta conferencia se crearon dos documentos que establecieron las estrategias para el desarrollo sostenible en el mundo: 1) La Agenda 21, capítulo 36 presenta el tema de la educación y comunicación ambiental y 2) El Tratado de Educación Ambiental para Sociedades Sustentables y Responsabilidad Global.

Por su parte, en Estados Unidos se establecieron dos políticas muy importantes que ayudaron a propulsar la educación ambiental: la *National Environmental Policy Act* (NEPA) de 1969 y el *National Environmental Education Act* (NEEA) de 1990. La NEPA, por sus siglas en inglés, establecía que el gobierno debía promover un ambiente saludable para los humanos. El NEEA, le requiere a la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) aumentar el conocimiento ambiental a nivel nacional y el mismo establece que debe haber una oficina de educación ambiental en la EPA de cada estado junto con sus respectivas iniciativas de entrenamiento. Entre estos años,

se fundó en 1970 la Asociación de Educación Ambiental de Norteamérica (NAAEE, por sus siglas en inglés) que incluye a los Estados Unidos, Canadá, México y Puerto Rico. A esto le siguieron los Proyectos para el Currículo (*National National Curriculum Projects*). Por su parte, en 2001 se presentó el Proyecto de Ley 1178 para la creación del Consejo para la Promoción de la Educación Ambiental en Puerto Rico (Dpto. de Educación de PR 2003). Desde entonces, se ha intentado integrar la educación ambiental al currículo escolar de Puerto Rico.

En 1980, Hungerford et al. indicó que hay cuatro niveles que ayudan a guiar la educación ambiental: fundamentos ecológicos, conocimiento conceptual, investigación/evaluación y destrezas de acción ambiental. Algunos investigadores describen que la educación ambiental debe tener como punto central el objetivo de permitir que los estudiantes adquieran el valor, compromiso y deseo de participar en problemas ambientales de interés social; que aprendan a ser ciudadanos activos (Jensen y Schnack 2006). Otros indican que la educación ambiental se puede utilizar para preparar ciudadanos responsables que participan activamente para resolver problemas ambientales (Bartosh 2003). En resumen, la educación ambiental se puede definir como la educación que promueve el entendimiento de los fundamentos y la concienciación de los problemas y asuntos ambientales y que además promueve la motivación y el fortalecimiento de las acciones con respecto a los problemas ambientales. Esto indica que, aparte de buscar el conocimiento, la motivación para tomar acción es un elemento muy importante en la educación ambiental.

La educación ambiental también se puede enseñar en un marco informal, como por ejemplo, participar en organizaciones y en actividades recreativas. Los ambientes informales de educación también pueden

hacer contribuciones importantes a la sociedad ya que las preocupaciones ambientales y de salud pública son planteamientos científicos importantes de nuestro mundo actual. Para resolver estos conflictos se tiene que mejorar el conocimiento ambiental utilizando todos los recursos disponibles e integrando distintas disciplinas. La incorporación de programas de educación ambiental en las escuelas son un método de enseñanza informal que permite que los estudiantes desarrollen todas estas destrezas. Una de las estrategias que se presenta como alternativa para integrar la educación ambiental en las escuelas es, precisamente, enfocarse en establecer alianzas entre modelos de educación formal e informal (Knapp 2000). Esto es porque la implementación efectiva de la educación ambiental no se puede lograr solo; es necesario unir esfuerzos de educación ambiental formal e informal. Este tipo de alianza proveerá a los educadores con personas recurso que cuenten con la experiencia y el entrenamiento adecuado. Además, recursos como las organizaciones no-gubernamentales también pueden proveer capacitación en el puesto de trabajo para los educadores y así lograr una mejor diseminación de la educación ambiental.

Una manera en que se incorpora la educación ambiental en las escuelas de Puerto Rico es mediante programas educativos de organizaciones sin fines de lucro como el Programa de Escuelas Sustentables (PES) de la Corporación para la Sustentabilidad Ambiental (COSUAM) de Puerto Rico. La COSUAM es una organización privada sin fines de lucro creada para promover la sustentabilidad ambiental, la salud pública, iniciativas comunitarias y la conservación de los recursos naturales como medio para mejorar la calidad de vida. Asimismo, esta organización se propone contribuir a la “protección de la integridad ecológica mediante el diseño de proyectos y la administración de programas ambientales ejerciendo

liderato científico, profesional y compromiso social tanto local como internacionalmente afectando positivamente a las comunidades y concientizando a niños, jóvenes y estudiantes sobre la importancia de la sustentabilidad del medio ambiente” (COSUAM). La COSUAM de Puerto Rico cuenta con profesionales académicamente preparados en distintas disciplinas académicas como el campo ambiental, salud pública, ingeniería industrial, trabajo social, administración, manejo y dirección de programas gubernamentales y organizaciones sin fines de lucro. La organización también ha publicado varios estudios, incluyendo uno sobre el efecto del desarrollo urbano en las temperaturas de Puerto Rico y otro de clasificación de municipios por nivel de sustentabilidad (Torres Valcárcel et al. 2014 COSUAM 2015).

El PES representa un método para alcanzar la misión de la organización que consiste en promover la sustentabilidad ambiental y la salud pública desde instituciones académicas desde todos los niveles educativos. El programa tiene como propósito fomentar actividades escolares utilizando la capacitación docente, integrando la protección ambiental y promoviendo la salud pública al currículo, incorporando la participación de la comunidad y planificación de actividades educativas para estudiantes tanto dentro como fuera de la escuela (COSUAM). Además de educar acerca de la sustentabilidad y la protección ambiental, este programa busca modificar actitudes y conducta, motivar a los participantes a tomar acción desde la escuela teniendo un movimiento de base (*Grassroots*) y busca que el individuo influya a la comunidad. Asimismo, el PES puede categorizarse como un programa de educación informal ya que tiene una serie de actividades extracurriculares en diferentes ambientes y que envuelven la participación tanto de estudiantes, maestros, padres y empleados, como la comunidad, otras organizaciones, agencias y compañías. También es un programa completamente

voluntario y flexible ya que se ajusta a la disposición y disponibilidad de recursos en cada escuela. Además, los coordinadores del PES de cada escuela no tienen obligaciones ni metas específicas que cumplir en un tiempo dado. También es un programa que sirve como herramienta y fuente de apoyo para trabajar por la sustentabilidad.

El *National Research Council* indica que los ambientes informales de aprendizaje pueden ser medios importantes para aprender sobre diversas materias y juegan un rol especial impulsando el aprendizaje de las ciencias, especialmente los programas fuera de horarios regulares de clases. También indica que los programas de enseñanza de ciencias toman lugar en escuelas y organizaciones basadas en la comunidad que son ricas en ciencias y que incluyen actividades que son apoyadas por la organización, la comunidad u otros, o que son organizadas por ellos mismos. Estas experiencias en ambientes informales están caracterizadas por estar motivadas por el mismo aprendiz, son voluntarias, tienen un aspecto personal, son colaborativas, no-lineales, continuas, relevantes y no concluyentes (NRC 2009). También cuentan con una variedad de participantes que incluyen maestros, miembros de la comunidad, familiares, grupos estudiantiles, entre otros. El PES es un ejemplo apropiado de un método de educación informal ya que cuenta con todas estas características.

Muchos investigadores entienden que la educación ambiental no solamente lleva a adquirir conocimiento ambiental, sino que también ayuda a mejorar la conducta ambiental (Disinger 1982, Marcinowski 1987, Sia 1984, Zelezny 1999, citados en Bartosh 2003). Además, de acuerdo a Disinger, se espera que la educación ambiental en lugares no tradicionales e informales sea más efectiva que los programas tradicionales del salón para cambiar la conducta ambiental (citado en Bartosh 2003). Lo ideal es contar con un

balance entre la educación formal e informal para dirigirse a la necesidad que existe de educación ambiental (Knapp 2000), y los programas como el PES representan un ejemplo de esto ya que son programas que se establecen en escuelas, son coordinadas por maestros y reciben experiencias en ambientes diversos. Al mismo tiempo, cuentan con el apoyo de una organización sin fines de lucro y reciben el respaldo de la comunidad. Esta coordinación entre ambientes formales e informales permite mejorar el currículo y el desarrollo de los maestros (NRC 2009). Además, la educación informal aumenta el interés y conocimiento del público, al igual que una mayor apreciación de las ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (campos STEM). Las escuelas no pueden actuar solas para alcanzar todas las metas académicas y es necesario comprender que hay una amplia gama de experiencias de aprendizaje científico que pueden mejorar la educación.

Sin embargo, existen muy pocas investigaciones que reflejen los resultados de la educación en ambientes informales y mucho menos en cómo los programas educativos informales con un enfoque ambiental pueden tener un efecto en el desempeño académico de los estudiantes. Aunque ya existen algunos estudios relacionados al efecto de la educación ambiental en el aprovechamiento académico de los estudiantes, este tipo de investigación sigue estando escasamente estudiada, especialmente en Puerto Rico. Asimismo sucede con investigaciones acerca del efecto de la educación informal en el aprovechamiento académico. Por ende, existe una necesidad de realizar más estudios cuantitativos y cualitativos que demuestren la efectividad de la educación ambiental y su efecto positivo en el aprovechamiento académico. Esta investigación pretende examinar si hay una correlación entre la educación ambiental, mediante un programa de educación informal, y un mayor aprovechamiento académico de

los estudiantes que se refleja en los resultados de pruebas estandarizadas que ofrece el Departamento de Educación de Puerto Rico.

Hay varios estudios en Estados Unidos (Bartosh 2003, Lieberman et al. 1998, Monroe et al. 2001, SEER 2005) que han demostrado que la educación ambiental formal sí tiene un impacto positivo en el aprovechamiento académico de los estudiantes que se refleja en los resultados de distintas pruebas estandarizadas que incluyen materias como matemáticas, literatura, gramática, ortografía y ciencias sociales. Además, el estudio analítico realizado por el *National Research Council* indica que la educación informal también contribuye significativamente en el desempeño del aprendizaje de las ciencias. Dentro de este marco conceptual, hemos seleccionado el PES como tratamiento de estudio ya que es un método de educación ambiental informal donde se incorporan muchos temas científicos e interdisciplinarios. Este programa busca educar sobre materias científicas, ambientales y de salud pública mediante distintos tipos de proyectos y actividades que son planificados por el coordinador PES de cada escuela. Por consiguiente, nuestro objetivo es identificar si participar en un programa de educación ambiental informal también tiene un efecto positivo en el desempeño académico de los estudiantes en escuelas públicas de Puerto Rico.

Bartosh (2003) estudió si los programas de educación ambiental pueden mejorar el conocimiento y las destrezas de los estudiantes en otras materias que no están relacionadas con la educación ambiental, como por ejemplo, las matemáticas, escritura, lectura y escuchar. Para medir el aprovechamiento académico utilizó los resultados de dos pruebas estandarizadas que ofrece el estado y los comparó entre escuelas con educación ambiental y escuelas “tradicionales”. Asimismo, utilizó unas rúbricas previamente establecidas para determinar

el nivel y alcance de la implementación e integración de la educación ambiental en las escuelas. Estas rúbricas fueron desarrolladas como parte del Proyecto de Evaluación Ambiental del Consorcio de Educación Ambiental (*Environmental Assessment Project of the Environmental Education Consortium*) (Bartosh 2003) e incluyen características específicas para categorizar las escuelas de educación ambiental. Según el Consorcio, las características de una escuela que integra completamente la educación ambiental es aquella que lleve implementando la educación ambiental en su currículo hace 3 años como mínimo, que al menos 20 por ciento de los maestros/salones y 33 por ciento de los estudiantes estén envueltos en la educación ambiental, que tenga un currículo integrado alrededor de la educación ambiental, que esté enlazado a lugares naturales y tengan proyectos basados en contribuir al ambiente y la comunidad. Las escuelas deben tener un modo de instrucción específico: deben incluir equipos de maestros que trabajen juntos, que hayan maestros que ayuden a los estudiantes a desarrollar su propio conocimiento y que cuenten con el apoyo de padres, la administración y la comunidad. El aprendizaje de los estudiantes debe estar apoyado por políticas del estado, del distrito y la escuela. El estudiante también debe comprender los estándares y construyen su propio conocimiento. Además, se utilizan las mejores prácticas de evaluación y la comunidad participa en el proceso educativo y provee oportunidades de aprendizaje (Bartosh 2003). Los resultados del estudio de Bartosh indican que los estudiantes de las escuelas con educación ambiental obtuvieron un mejor desempeño en todas las materias de ambas pruebas estandarizadas evaluadas (Bartosh 2003).

Esta investigación tiene un enfoque similar al estudio mencionado anteriormente: se realizó una categorización de las escuelas en base a las características que tienen las rúbricas que

Bartosh empleó en su estudio y se utilizaron los resultados de pruebas estandarizadas para medir el aprovechamiento académico de los estudiantes. Para llevar a cabo este estudio se realizó una gradación de nivel de educación ambiental entre las escuelas. Esto se hizo estableciendo una escala (o rúbrica) que incluye características específicas que permiten clasificar a las escuelas como muy activas, activas o poco activas en el programa PES. Además, se compararon los resultados de las pruebas estandarizadas que se ofrecen en todas las escuelas públicas (Pruebas Puertorriqueñas de Aprovechamiento Académico o PPAA) del Departamento de Educación de nivel superior que están registradas en el PES de COSUAM. Al comparar los resultados entre las escuelas se podrá determinar si existe una correlación o no entre la educación ambiental informal y tener un mejor desempeño académico. Las PPAA que se dan en las escuelas de nivel superior se ofrecen en undécimo grado e incluyen 4 materias: español, inglés, matemáticas y ciencias. Se estarán evaluando los resultados de crecimiento académico de cada escuela en base a los índices de progreso de cada materia y el índice de progreso de la proficiencia total.

En resumen, lo que se está analizando es si existe una relación entre exponerse al PES y los resultados en el aprovechamiento académico. Se van a comparar unas escuelas PES con otras porque entre estas existe una gran variación en cuanto a su contenido y participación en educación ambiental, para esto se establece una gradación de acuerdo a diferentes características como cantidad y tipo de actividades, años en el programa, entre otros. Por tanto, las escuelas se categorizaron como muy activa, activa o poco activa, de acuerdo a su nivel de participación. Junto con los resultados de las PPAA del año académico 2014-2015 se establecerá si hay o no hay una relación. Se espera que aquellas escuelas categorizadas como “muy activas” obtengan unos resultados en las PPAA mayores que aquellas escuelas que no son tan activas.

Por ende, nuestra hipótesis es de correlación entre dos variables en donde se propone que las escuelas PES que hayan sido categorizadas como muy activas concederán unas ventajas en el aprovechamiento académico de los estudiantes.

MÉTODOS

Se seleccionó el PES de COSUAM de Puerto Rico como modelo de educación ambiental informal. Actualmente hay aproximadamente 30 escuelas públicas registradas en el PES. De éstas se seleccionaron 7 escuelas de nivel Superior para evaluar los resultados de las PPAA en base al crecimiento académico del año escolar 2014-2015 que se ofrecieron en undécimo (11mo) grado y que incluyen cuatro materias: matemáticas, español, inglés y ciencias.

Este estudio se realizó utilizando datos existentes que incluyen las PPAA, los cuales son datos públicos, y la información facilitada por el Dr. Ángel Torres, director del PES, acerca de las escuelas públicas que forman parte de dicho programa. Los resultados de las PPAA del año académico 2014-2015 y parte de la información general de las siete escuelas se adquirieron de los Informes de Perfil Escolar del año académico 2015-2016 localizados en una base de datos de la página web (<http://intraedu.dde.pr/evaluacion/Site%20Pages/rcard.aspx>) del Departamento de Educación de Puerto Rico (Departamento de Educación de Puerto Rico, 2016).

Los datos contenidos en los Perfiles Escolares que se utilizaron como variables independientes para el análisis de este estudio fueron: la matrícula para el año académico 2014-2015, la tasa de graduación más reciente (año académico 2013-2014) y la clasificación de la escuela de acuerdo al desempeño que le otorga el Departamento de Educación (Excelencia, Prioridad, Enfoque o Transición). También se utilizó el porcentaje de clases

atendidas por maestros que no están altamente cualificados (NO HQT, por sus siglas en inglés) para poder calcular la proporción de clases que son atendidas por maestros que sí están altamente cualificados (HQT). Para esta última variable consideramos las materias de inglés, matemáticas, ciencias y español. Además, se utilizó el porcentaje de progreso de las materias de español, inglés y matemáticas como medición del aprovechamiento académico en el año escolar 2014-2015. Estos porcentajes forman parte del crecimiento académico, el cual se demuestra utilizando el índice de progreso de la proficiencia. La proficiencia de la escuela es la suma de los porcentajes de estudiantes que demostraron un desempeño académico de nivel proficiente y avanzado en las pruebas dividido por el total de matrícula. El índice de progreso se determina mediante la diferencia entre aprovechamiento académico entre el año más reciente y el anterior. Estas diferencias en aprovechamiento académico se ven reflejadas en los resultados obtenidos en las PPAA. Debido a que el crecimiento académico no incluye datos del progreso en ciencias, esta proporción se obtuvo de la tabla de Proficiencia en Ciencias de todos los estudiantes de 11mo en las PPAA para el año académico 2014-2015.

Debido a que existe una gran variación con relación al grado de participación de las escuelas en el programa PES, se elaboró una escala para medir el grado de participación de las escuelas en este programa. Para la construcción de la escala, se tomaron en cuenta a las siguientes variables: fecha de ingreso en el programa (años participando en el PES), la especialización del coordinador(a) y su nivel de educación, si el coordinador ha sido premiado o no (y cuantas veces), si la escuela ha cambiado de coordinador, si la escuela está activa o inactiva, el tipo de actividades o proyectos que realizan, los logros obtenidos en el PES y si hay otras personas envueltas en el PES (a parte del coordinador). Se desglosaron las actividades realizadas en cada escuela desde el año que

se registraron en el PES y se agruparon por categoría de acuerdo al tipo de actividad. Esta información se utilizó para establecer criterios que facilitaron la creación de una rúbrica para categorizar las escuelas.

La rúbrica establecida contiene un total de 5 criterios (o características): cantidad de actividades, si ha sido premiada, si tienen participación comunitaria, si integra a la comunidad escolar y si las actividades incluyen a la organización (COSUAM). La característica de cantidad de actividades es un criterio cuantitativo mientras que las otras 4 características son criterios cualitativos. Para obtener el número de actividades al año, se calculó el promedio ya que la métrica es la razón de actividades/año. El segundo criterio consiste en determinar si la escuela ha ganado premio(s) del PES o no. La característica de “participación comunitaria” se refiere a que la escuela ha tenido una participación *en y de* la comunidad; es decir, que la comunidad participa en las actividades que realizan las escuelas PES y los estudiantes también participan en eventos de la comunidad (o la región/pueblo). La comunidad incluye a negocios, empresas, compañías privadas, organizaciones (privadas, sin fines de lucro, entre otras), agencias (municipales, gubernamentales, entre otras) y todas esas personas que no formen parte de la escuela de manera directa. No es necesario definir una cantidad específica de actividades en las que haya participación comunitaria para cada escuela sino indicar si ha habido o no. El criterio de “Integración de la comunidad escolar” se refiere a que los mismos miembros de la comunidad escolar (maestros, administración, otros miembros de la facultad y otros grupos estudiantiles) participan y cooperan en las actividades del PES. Asimismo, los estudiantes del PES también se involucran en otras actividades que se realizan dentro de escuela. Tampoco es necesario definir una proporción en este criterio sino indicar si la escuela tiene este tipo de integración o no.

Por último, la característica de “Actividades incluyen a la organización (COSUAM)” se refiere a que si la escuela ha participado o ha tenido actividades organizadas por COSUAM (charlas, conferencias, entre otros). No es necesario definir una proporción sino indicar si la escuela ha recibido o participado en este tipo de actividades.

Esta rúbrica permite establecer a qué categoría pertenece cada escuela de acuerdo a los criterios establecidos. Una vez se caracterizaron todas las escuelas, se utilizó la rúbrica para clasificarlas. Estas categorías son: “Muy activa”, “Activa” o “Poco activa”. Se clasificará como “Muy activa” aquella escuela que haya realizado más de 4 actividades al año y cumpla con al menos 3 de los 4 criterios: que haya ganado premio(s), tenga participación comunitaria, integración de la comunidad escolar y las actividades incluyan a la organización (COSUAM). Asimismo, se clasificará como “Activa” aquella escuela que haya realizado entre 2 a 4 actividades al año y cumpla con 3 de los otros 4 criterios cualitativos. Finalmente, clasificará como “Poco activa” aquella escuela que haya realizado 1 o ninguna actividad en el año y cumpla con 2 de los otros 4 criterios cualitativos. Si una escuela ha realizado más de 1 actividad pero solamente cumple con 2 de los 4 criterios o menos, también se clasificará como “Poco activa”. Por lo tanto, se clasificará como “Poco activa” aquella escuela que cumpla con 2 de los 4 criterios o menos, independientemente de la cantidad de actividades que hayan realizado. Esta categorización fue validada por el director del PES, quien evaluó las escuelas de acuerdo a los criterios de la rúbrica. Estas características se estudiaron junto con los resultados del crecimiento académico (nuestra variable dependiente) y se evaluó si existe una relación entre las dos variables o no.

Se utilizó un análisis de Regresión Polinómica para establecer la relación entre el

porcentaje de incremento del aprovechamiento académico en las materias (español, inglés, matemáticas y ciencias) y las variables independientes consideradas. Como variables independientes se consideraron tres predictores cuantitativos: el porcentaje de clases atendidas por HQT, la tasa de graduación y la categoría asignada a la escuela según los criterios de la rúbrica elaborada para medir la participación en el programa PES, y una variable categórica: el nivel de pobreza. Se estableció la significación de la validez del análisis de regresión a través de un ANOVA (análisis de varianza). Además, de los análisis anteriores, se estableció la relación entre las cuatro variables indicadoras del incremento del aprovechamiento (español, inglés, matemáticas y ciencias) con la ayuda del coeficiente de correlación de Pearson.

RESULTADOS

Las siete escuelas que se seleccionaron para esta investigación tienen características distintas entre sí: son de diversos municipios, la cantidad de estudiantes matriculados y maestros es variada, tienen distintas clasificaciones de acuerdo al nivel de desempeño y varían en los años que llevan registradas en el PES. En la Figura 1 se puede observar la distribución de las escuelas por municipio y en la Tabla 1 están organizadas distintas características generales y descriptivas de las escuelas.

Asimismo, se realizó una rúbrica para asignarle una clasificación a cada escuela de acuerdo al nivel de participación. Esta rúbrica contenía un total de 5 criterios (o características) que incluyen cantidad de actividades, si ha sido premiada, si tienen participación comunitaria, si integra a la comunidad escolar y si las actividades incluyen a la organización (COSUAM) (Fig. 2).

Los datos que fueron analizados para cada escuela son: la clasificación otorgada por el director del PES utilizando la rúbrica

FIGURA 1. Mapa con la ubicación de las escuelas PES estudiadas.**TABLA 1.** Características descriptivas generales de las siete escuelas superiores estudiadas. Todas las escuelas son urbanas menos la escuela número 7.

Escuela	Municipio	Matrícula Total	Masculino	Femenino	Matrícula 11mo	Cantidad de Maestros	Clasificación por Desempeño	Años en el Programa de Escuelas Sustentables
1	Vieques	238	120	118	63	9	Prioridad	7
2	Gurabo	632	279	353	199	29	Transición	4
3	Juana Díaz	609	285	324	203	36	Transición	4
4	Bayamón	820	462	358	213	39	Transición	4
5	Quebradillas	451	222	229	156	21	Transición	2
6	Lajas	743	387	356	237	41	Enfoque	2
7	Carolina	616	288	328	208	25	Prioridad	2



desarrollada que considera la participación en el programa, el progreso académico para las materias de español, inglés, matemáticas y ciencias, el por ciento de clases de inglés, matemáticas y ciencias que son atendidas por maestros HQT, la tasa de graduación y el nivel de pobreza, para el año académico 2014-2015 (Tabla 2). Para el análisis no se incluyeron los porcentajes de clases de español atendidas por maestros altamente cualificados porque no presentaron variabilidad entre las escuelas estudiadas (obtuvieron un 100 por ciento en todas las escuelas).

Según la evaluación de la muestra de 7 escuelas realizada por el director del programa PES, utilizando la categorización de acuerdo con los criterios establecidos, 1 escuela fue categorizada como "Muy activa", 2 escuelas fueron categorizadas como "Activas" y 4 fueron categorizadas como "Poco activas" (Tabla 2).

La escuela 1 fue categorizada como "Poco activa". El progreso académico de español fue de 4.2 por ciento, el de inglés fue de 13.9 por ciento, el de matemáticas fue -1.4 por ciento y el de ciencias -1.1 por ciento. El porcentaje de clases de inglés, matemáticas y ciencias atendidas por maestros altamente cualificados fue de 100 por ciento, 58.8 por ciento y 50 por ciento, respectivamente. La tasa de graduación fue de 78.8 por ciento y el nivel de pobreza fue Q1, el cual representa un nivel de pobreza bajo (*Low poverty school*).

La escuela 2 fue categorizada como "Poco activa". El progreso académico de español fue de 3.3 por ciento, el de inglés fue de 6.2 por ciento, el de matemáticas fue 0 por ciento y el de ciencias fue -9.0 por ciento. El porcentaje de clases de inglés, matemáticas y ciencias atendidas por maestros altamente cualificados fue de 100 por ciento, 100 por ciento y 80 por

TABLA 2. Datos de las escuelas recopilados y utilizados para los análisis. La tasa de graduación corresponde al 2013-2014. Los niveles de pobreza son: Q1- nivel de pobreza bajo y Q2-Q3- nivel de pobreza mediano.

Escuela	Categoría	Progreso (%)				Clases Atendidas Por HQT* (%)			Tasa de Graduación (%)		Nivel de Pobreza
		Español	Inglés	Matemáticas	Ciencias	Inglés	Matemáticas	Ciencias	Graduación		
1	Poco Activa	4.15	13.89	-1.41	-1.1	100	58.82	50	78.78		Q1
2	Poco Activa	3.29	6.20	0	-9.0	100	100	80	76.30		Q1
3	Activa	-7.93	-5.43	-8.06	-20.9	100	100	77.78	87.32		Q1
4	Poco Activa	-0.30	-1.84	-5.06	-18.9	100	85.71	66.67	84.09		Q1
5	Activa	13.10	-2.90	-7.47	-12.2	100	100	57.14	83.09		Q2-Q3
6	Muy Activa	-2.49	-0.94	-8.10	-6.0	100	100	96.67	68.84		Q2-Q3
7	Poco Activa	-26.57	0.53	-1.49	-18.7	80	73.68	92	67.37		Q2-Q3

* En el caso de español no se consideró el porcentaje de clases atendidas por maestros altamente calificados (HQT) debido a que esta variable no presentó variación.

ciento, respectivamente. La tasa de graduación fue de 76.3 por ciento y el nivel de pobreza fue Q1 (nivel de pobreza bajo - *Low poverty school*).

La escuela 3 fue categorizada como “Activa”. El progreso académico de español fue de -7.9 por ciento, el de inglés fue de -5.4 por ciento, el de matemáticas fue -8.1 por ciento y el de ciencias -20.9 por ciento. El porcentaje de clases de inglés, matemáticas y ciencias atendidas por maestros altamente cualificados fue de 100 por ciento, 100 por ciento y 77.8 por ciento, respectivamente. La tasa de graduación fue de 87.3 por ciento y el nivel de pobreza fue Q1 (nivel de pobreza bajo).

La escuela 4 fue categorizada como “Poco activa”. El progreso académico de español fue de -0.3 por ciento, el de inglés fue de -1.8 por ciento, el de matemáticas fue -5.1 por ciento y el de ciencias -18.9 por ciento. El porcentaje de clases de inglés, matemáticas y ciencias atendidas por maestros altamente cualificados fue de 100 por ciento, 85.7 por ciento y 66.7 por ciento, respectivamente. La tasa de graduación fue de 84.1 por ciento y el nivel de pobreza fue Q1 (nivel de pobreza bajo).

La escuela 5 fue categorizada como “Activa”. El progreso académico de español fue de 13.1 por ciento, el de inglés fue de -2.9 por ciento, el de matemáticas fue -7.5 por ciento y el de ciencias -12.2 por ciento. El porcentaje de clases de inglés, matemáticas y ciencias atendidas por maestros altamente cualificados fue de 100 por ciento, 100 por ciento y 57.1 por ciento, respectivamente. La tasa de graduación fue de 83.1 por ciento y el nivel de pobreza fue Q2-Q3 (nivel de pobreza mediano).

La escuela 6 fue categorizada como “Muy activa”. El progreso académico de español fue de -2.5 por ciento, el de inglés fue de -0.9 por ciento, el de matemáticas fue -8.1 por ciento y el de ciencias -6.0 por ciento. El porcentaje

de clases de inglés, matemáticas y ciencias atendidas por maestros altamente cualificados fue de 100 por ciento, 100 por ciento y 96.7 por ciento, respectivamente. La tasa de graduación fue de 68.8 por ciento y el nivel de pobreza fue Q2-Q3 (nivel de pobreza mediano).

Por último, la escuela 7 fue categorizada como “Poco activa”. El progreso académico de español fue de -26.6 por ciento, el de inglés fue de 0.5 por ciento, el de matemáticas fue -1.5 por ciento y el de ciencias 18.7 por ciento. El porcentaje de clases de inglés, matemáticas y ciencias atendidas por maestros altamente cualificados fue de 80 por ciento, 73.7 por ciento y 92 por ciento, respectivamente. La tasa de graduación fue de 67.4 por ciento y el nivel de pobreza fue Q2-Q3 (nivel de pobreza mediano).

Se realizó un análisis de Regresión polinómica para cada variable dependiente: el porcentaje de crecimiento en el aprovechamiento de las materias de español, inglés, matemáticas y ciencias, en función de las 4 variables independientes (categoría de acuerdo a la participación, porcentaje de clases atendidas por maestros altamente cualificados, tasa de graduación y nivel de pobreza). El análisis consistió en colocar la variable dependiente (porcentaje de crecimiento de aprovechamiento de cada materia) y las variables independientes en el programa estadístico. Solamente se presentan los resultados del análisis para el porcentaje de incremento en aprovechamiento de ciencias ya que los resultados no fueron significativos para las otras materias (español, inglés y matemáticas).

Se estableció la significación de la validez del análisis de regresión a través de un análisis de varianza (ANOVA). El análisis de la varianza de la regresión para el incremento en el aprovechamiento de los estudiantes en ciencias (Tabla 3) indican que la calificación, la tasa de graduación, participación en el PES y el nivel

TABLA 3. Resultados del análisis de varianza de la regresión polinómica en ciencias. Incluye los grados de libertad (GL), la suma de cuadrados ajustado (SC ajust.), el cuadrado medio ajustado (MC ajust.), el valor estadístico de la varianza (Valor F) y el valor de significación (Valor p).

Fuentes de Variación	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor p
Regresión	4	311.21	77.80	6.70	.134
Calificación	1	240.65	240.65	20.72	.045
Tasa de graduación	1	266.65	266.65	22.96	.041
Participación	1	134.79	134.79	11.61	.076
Nivel de pobreza	1	96.99	96.99	8.35	.102
Error	2	23.23	11.61		
Regresión	6	334.44			
Total	4	311.21	77.80	6.70	.134

de pobreza tienen valores de F de: 20.72, 22.96, 11.61 y 8.35, respectivamente. En la tabla de los coeficientes del modelo de Regresión polinómica (Tabla 4) hay una tendencia moderadamente significativa ($p = .076$) para el incremento en el aprovechamiento académico de ciencias con la variable cuantitativa del nivel de participación de las escuelas en el PES (Tabla 4).

Además, se observa que dos de los cuatro predictores resultaron significativos: para un nivel de significancia menor de 5 por ciento resulta significativa la “calificación” (el porcentaje de clases atendidas por HQT) ($p = .045$) y la tasa de graduación ($p = .041$), pero con relación negativa (Tabla 4). El Valor T del porcentaje de clases de ciencias atendidas por HQT tiene un valor de -4.6 por ciento y la tasa de graduación un -4.8 por ciento. El nivel de pobreza dio una relación cercana al 10 por ciento ($p = .102$).

El cálculo del factor de inflación de la varianza (VIF) se realizó para cuantificar la relación entre los coeficientes. La colinealidad de los coeficientes fue de 2.29, 3.07, 1.91 y 2.43 (Tabla 3). Por su parte, el valor del

coeficiente de determinación (R^2) muestra que el modelo de regresión explica el 93 por ciento de la varianza del porcentaje de incremento en el aprovechamiento de los estudiantes en ciencias. En la parte inferior de la Tabla 4 también se incluyen las ecuaciones de regresión para obtener el porcentaje del incremento del aprovechamiento académico en ciencias para los dos niveles de pobreza.

El tercer análisis que se hizo fue un análisis de correlación que incluye el coeficiente de correlación y el nivel de significación. En la Tabla 5 se presentan los resultados de la matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la relación entre las variables indicadoras del porcentaje de incremento del aprovechamiento de los estudiantes en las cuatro materias. Se pudo establecer una relación significativa entre el porcentaje de incremento en el aprovechamiento de los estudiantes en inglés con el de matemáticas ($r = 0.757$, $p = .049$, $n = 7$), y entre inglés y ciencias ($r = 0.766$, $p = .045$, $n = 7$).

DISCUSIÓN

El presente estudio examinó si existe una relación entre la educación ambiental informal,

TABLA 4. Coeficientes del modelo de regresión polinómica en ciencias. Incluye el coeficiente, el error estándar del coeficiente (EE del coef.), el Valor T, el Valor p y el factor de inflación de la varianza (VIF, por sus siglas en inglés). El Valor T establece si el coeficiente de la variable independiente (pendiente) es significativamente diferente de cero.

Término	Coeficiente	EE del Coeficiente	Valor T	Valor p	VIF
Constante	139.9	30.8	4.55	.045	
Calificación	-0.553	0.122	-4.55	.045	2.29
Tasa Graduación	-1.529	0.319	-4.79	.041	3.07
Participación en Programa de Escuelas Sustentables	8.33	2.44	3.41	.076	1.91
Nivel Pobreza	-11.73	4.06	-2.89	.102	2.43

variable independiente (pendiente) es significativamente diferente de cero.

Coeficiente de Determinación (R^2) = 0.93

Ecuaciones de regresión (CIENCIAS)

Nivel de Pobreza (1)

Por ciento de aprovechamiento en ciencias = 139.9 - 0.553 Calificación - 1.529 Tasa Graduación + 8.33 Participación

Nivel de Pobreza (2)

Por ciento de aprovechamiento en ciencias = 128.2 - 0.553 Calificación - 1.529 Tasa Graduación + 8.33 Participación

TABLA 5. Matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la relación entre las variables indicadoras del porcentaje de incremento del aprovechamiento.

	Crecimiento Español	Crecimiento Inglés	Crecimiento Matemáticas
Crecimiento Inglés	0.192		
	0.680		
Crecimiento Matemáticas	-0.206	0.757	
	0.657	0.049	
Crecimiento Ciencias	0.503	0.766	0.256
	0.249	0.045	0.566

mediante el PES y el aprovechamiento académico de los estudiantes de nivel superior que se refleja en los resultados de pruebas estandarizadas PPAA que ofrece el Departamento de Educación de Puerto Rico. El análisis utilizó un grupo de escuelas PES porque entre estas existe una gran variación en cuanto al contenido y participación en el programa. Para este estudio se estableció una gradación de acuerdo a cinco características. Las escuelas se categorizaron como muy activa, activa o poco activa, de acuerdo a su nivel de participación en el programa. Se esperaba que aquellas escuelas categorizadas como muy activas obtengan unos resultados de crecimiento académico en las PPAA del año académico 2014-2015 mayores que aquellas escuelas que no son tan activas.

Aunque se realizó el mismo análisis de Regresión Polinómica para el porcentaje incremento del aprovechamiento de los estudiantes en español, inglés, matemáticas y ciencias, los resultados solamente fueron significativos para el porcentaje de incremento del aprovechamiento en ciencias.

La participación en el programa PES fue una de las variables cuantitativas que sí tuvo significación en relación con el incremento en el aprovechamiento académico en ciencias. En este caso, el nivel de significancia fue cercano al 10 por ciento. Nuestros resultados indican que hay una *tendencia moderadamente significativa* ($p = .076$) para el incremento en el aprovechamiento académico de ciencias con el nivel de participación de las escuelas en el PES (Tabla 3). Aunque el incremento en el aprovechamiento académico de los estudiantes reflejado en las pruebas estandarizadas hayan sido números negativos (como se presentan en la Tabla 2) se puede razonar que la participación en el PES hace menos negativo el aprovechamiento. Por lo tanto, se puede predecir que mientras más la escuela se involucre en el programa (PES), el

aprovechamiento académico de los estudiantes en ciencias eventualmente aumentará y podrá llegar a tener un valor positivo (un crecimiento académico con números positivos).

En el análisis de regresión también se pudo observar que dos de las cuatro variables independientes resultaron significativas: el porcentaje de clases de ciencias atendidas por maestros altamente cualificados y la tasa de graduación, para un nivel de significación menor del 5 por ciento pero con relación negativa (Tablas 3 y 4). Los resultados del análisis de la varianza presentados en la Tabla 4 indican que el porcentaje de clases de ciencias atendidas por maestros cualificados ($F = 20.72$ $p = .045$) y la tasa de graduación ($F = 22.96$ $p = .041$) influyen en el porcentaje de incremento en el aprovechamiento académico de las ciencias. Además, utilizando el factor de inflación de la varianza (VIF), se pudo determinar que los coeficientes fueron buenos estimadores porque la colinealidad es baja (los valores del VIF estuvieron entre 1 y 5) y, por ende, no están inflados (Tabla 3).

Por lo tanto, utilizando los resultados de ambos modelos estadísticos, se pudo identificar que existe una relación *negativa significativa* entre la tasa de graduación ($p = .041$) y el porcentaje de clases de ciencias atendidas por maestros cualificados ($p = .045$) con el incremento en el aprovechamiento académico de los estudiantes en las ciencias. Se puede argumentar que este resultado se debe a que los estudiantes de las escuelas públicas de Puerto Rico se gradúan independientemente de que hayan tenido o no un incremento en el aprovechamiento académico y de los resultados de las PPAA. Sería útil que este resultado se profundice en otro estudio.

Por otra parte, el coeficiente de determinación (R^2) indica la fluctuación del incremento en el aprovechamiento académico en ciencias que es predecible por las cuatro

variables independientes (el porcentaje de clases atendidas por HQT, la tasa de graduación y la categoría asignada a la escuela según los criterios de la rúbrica elaborada para medir la participación en el programa y el nivel de pobreza). El R^2 fue de 93 por ciento y, para los siete grados de libertad, representa una correlación positiva moderadamente alta.

La tercera prueba estadística realizada fue un análisis exploratorio de la matriz de coeficientes de correlación de Pearson para la relación entre las cuatro variables indicadoras del porcentaje de incremento del aprovechamiento (Tabla 5). Se pudo establecer una relación significativa entre el porcentaje de crecimiento en el aprovechamiento de los estudiantes en inglés con el de matemáticas ($r = 0.757$, $p = .049$, $n = 7$) y ciencias ($r = 0.766$, $p = .045$, $n = 7$). Esto representa que a medida que los estudiantes obtienen un porcentaje de aprovechamiento académico (crecimiento) de inglés mayor, también tienen un aprovechamiento académico mayor en matemáticas y en ciencias.

CONCLUSIONES

Nuestros resultados indican que hay una tendencia moderadamente significativa para el incremento en el aprovechamiento académico de ciencias con el nivel de participación de las escuelas en el PES. Por lo tanto, se puede predecir que mientras más la escuela se involucre en el programa (PES), el aprovechamiento académico de los estudiantes en ciencias eventualmente va a aumentar. El mismo análisis se realizó para el incremento del porcentaje del aprovechamiento en español, inglés y matemáticas, sin embargo, los resultados no demostraron correlación y no fueron significativos. También se realizó un análisis de regresión para determinar la relación del aprovechamiento académico con otras variables independientes, incluyendo la tasa de graduación, porcentaje de clases de

ciencias atendidas por maestros calificados, categoría de la participación en el programa y el nivel de pobreza. Los resultados demuestran que existe una relación negativa significativa para un nivel de significación menor del 5 por ciento.

La presente investigación tuvo dos aportaciones principales. Primeramente, nunca se había tratado de establecer una relación entre el aprovechamiento académico y este programa. Por lo tanto, aunque nuestros resultados sean preliminares se pueden utilizar para ver en qué medida el PES favorece el aprovechamiento académico en ciencias de las escuelas participantes. También esta investigación fue una experiencia preliminar para categorizar la participación de las escuelas en el programa y ver cómo se puede establecer una rúbrica que permita categorizar las escuelas y darle una gradación en función de su participación en el programa. Se recomienda que continúen realizándose este tipo de estudios en más escuelas y con otros programas educación ambiental para profundizar en el tema y para establecer por qué se obtuvieron algunas tendencias en nuestros análisis, como por ejemplo, explicaciones para haber obtenido una relación negativa y para determinar si existen otros factores que estén influyendo en el incremento del aprovechamiento.

AGRADECIMIENTOS

Le doy las gracias a mi mentora, la Dra. Michelle Borrero, por haber aceptado guiarme y por su valioso apoyo a lo largo de esta investigación. Mi agradecimiento al Dr. Ángel Torres Valcárcel, director del Programa de Escuelas Sustentables, por toda la valiosa información, consejos y ayuda que me proveyó. Asimismo, le expreso mis más sinceros agradecimientos al Dr. Jorge Rodríguez Lara, por su valiosa colaboración en esta investigación. Igualmente agradezco al Centro de Investigación Educativa en

Ciencias y Matemáticas (CSMER, por sus siglas en inglés y financiado por la Fundación Nacional de Ciencias – NSF #1038166) y la Corporación para la Sustentabilidad Ambiental de Puerto Rico. Además, le agradezco al Dr. Rafael Ríos por sus consejos durante todos estos años y recomendarme a la Dra. Borrero como mentora. También quisiera agradecer a la Profa. Ileana Galanes ya que su curso de Ciencias biológicas aportó muchísimo para mi formación en el tema de esta investigación. Gracias a Brenda Santiago, Ivonne Vélez y María Santos. Y a todas aquellas personas que de una manera u otra apoyaron este trabajo: gracias. Este estudio no hubiese sido posible sin la colaboración de todos ustedes.

REFERENCIAS

- Álvarez Suárez, P., y P. Vega Marcote. 2010. Developing sustainable environmental behavior in secondary education students (12-16). *Procedia Social and Behavioral Sciences* 2: 3568–3574. doi:10.1016/j.sbspro.2010.03.553
- Bartosh, O. 2003. Environmental Education: Imprinting Student Achievement. Thesis. The Evergreen State College, Olympia, Washington, USA. <http://www.seer.org/pages/research/Bartosh2003.pdf>
- COSUAM. 2015. Comunicado de prensa: COSUAM de Puerto Rico clasifica municipios de la isla por nivel de Sustentabilidad Ambiental. Corriente Verde, Luquillo, Puerto Rico. <http://www.corrienteverde.com/articulos/Corporacion%20para%20la%20Sustentabilidad%20Ambiental.html>
- COSUAM de Puerto Rico. n.d. About. [Facebook]. <https://facebook.com>
- Departamento de Educación de Puerto Rico. 2003. Integración de la Educación Ambiental K-6to: Guía Curricular para los Maestros de Puerto Rico. Departamento de Educación de Puerto Rico, San Juan, Puerto Rico.
- Departamento de Educación de Puerto Rico. 2016. Informe del perfil escolar. Autor, San Juan, Puerto Rico. <http://www.de.gobierno.pr/conoce-alde/261-aprovechamiento-academico/1901-perfil-escolar>
- Departamento de Educación de Puerto Rico. 2016. Informes de perfil escolar por escuela 2015-2016 (*School Report Card*). Unidad de Evaluación del Departamento de Educación de Puerto Rico. Departamento de Educación de Puerto Rico, San Juan, Puerto Rico <http://intraedu.dde.pr/evaluacion/Site%20Pages/rcard.aspx>.
- Hungerford, H.R. y T.L. Volk. 1990. Changing Learner Behavior through Environmental Education. *The Journal of Environmental Education* 21:257–270. <http://www.elkhornsloughhttp.org/uploads/files/1374624954Changing%20learner%20behavior%20-%20H%20and%20V.pdf>
- Jensen, B.B., y K. Schnack. 2006. The action competence approach in environmental education. *Environmental Education Research* 12:471–486. doi:10.1080/13504620600943053
- Knapp, D. 2000. The Thessaloniki Declaration: A Wake-Up Call for Environmental Education? *The Journal of Environmental Education* 31:32–39. doi:10.1080/00958960009598643
- Lieberman, G.A., y L.L. Hoody. 1998. Closing the achievement gap: using the environment as an integrating context for learning. SEER, Poway, San Diego, California, USA. <http://www.seer.org/extras/execsum.pdf>
- Monroe, M.C., J. Randall, y V., Crisp. 2001. Improving Student Achievement with Environmental Education. IFAS Extension, University of Florida, Florida, USA. <http://ufdcimages.uflib.ufl.edu/IR/00/00/31/85/00001/FR11400.pdf>
- NRC. 2009. Learning Science in Informal Environments: People, Places, and Pursuits. The National Academies Press, Washington, D.C., USA.

- Palmer, J.A. 1998. Environmental Education in the 21st Century: Theory, Practice, Progress and Promise. Routledge, London, UK. <http://www.seer.org/pages/research/CSAPII2005.pdf>
- Stapp, W.B., D. Bennett, W. Bryan, J. Fulton, J. MacGregor, P. Nowak, J. Swan, R. Wall, y S. Havlick.1969. The Concept of Environmental Education. The Journal of Environmental Education 1:30–31. http://hiddencorner.us/html/PDFs/The_Concept_of_EE.pdf
- SEER. 2005. California Student Assessment Project- Phase Two: The Effects of Environment-based Education on Student Achievement. SEER, Poway, San Diego, California, USA.
- Torres-Valcárcel, Á.R., J. Harbor, A.L. Torres-Valcárcel, y C.J. González-Avilés. 2015. Historical differences in temperature between urban and non-urban areas in Puerto Rico. International Journal of Climatology 35:1648–1661. doi:10.1002/joc.4083
- UNESCO. 1978. Tbilisi Declaration (Final report of the Intergovernmental Conference of Environmental Education: Tbilisi (USSR), 11-26 October 1977). UNESCO, Paris, France. <http://unesdoc.unesco.org/images/0003/000327/032763eo.pdf>

EFFECTO DE INTERVENCIÓN INTERDISCIPLINARIA EN LA ACTITUD HACIA LAS CIENCIAS Y MATEMÁTICAS

Marta Fortis¹ y Roxana Auccahuallpa²

^{1,2}Universidad de Puerto Rico, Río Piedras

RESUMEN

Esta investigación es un estudio de caso en el cual participaron tres maestros del nivel secundario de Ciencias y tres de Matemáticas, participantes en un programa de desarrollo profesional interdisciplinario del proyecto *Maximizing Yield Through Integration*. Dos preguntas de investigación guiaron dicho estudio: (1) ¿Cómo perciben los maestros de ciencias y matemáticas el efecto en las actitudes de sus estudiantes hacia dichas materias al participar en una intervención educativa interdisciplinaria? y, (2) ¿Cuáles aspectos perciben los maestros de ciencias y matemáticas que inciden en las actitudes de sus estudiantes hacia dichas materias al participar en una intervención educativa interdisciplinaria? Se utilizó como punto de partida los resultados de un inventario de las actitudes de sus estudiantes hacia a las matemáticas y ciencias, antes y después de participar en la estrategia de Aprendizaje basado en Proyecto (ABP). Estos resultados sugieren que la integración de matemáticas en el curso de ciencias aumentó las actitudes positivas hacia las matemáticas y, viceversa. Las percepciones de los maestros participantes al respecto fueron recogidas a través de un grupo focal. Los resultados permiten profundizar en el fenómeno y cómo los maestros que realizaron el ABP con sus estudiantes explican los cambios en actitudes documentados.

Palabras clave: Interdisciplinariedad, desarrollo profesional, actitudes hacia las ciencias y matemáticas, Aprendizaje Basado en Proyecto.

ABSTRACT

A case study was conducted with six secondary level teachers, three in science, and three in mathematics, who participated in an interdisciplinary professional development program entitled *Maximizing Yield Through Integration*. The following questions guided this research: (1) How science and mathematics teachers perceive the changes in their students' attitudes towards these disciplines by participating in an interdisciplinary educational intervention? (2) What aspects do the teachers perceive that influenced their students' attitudes towards science and mathematics by participating in an educational intervention?. The study used as a baseline previous results from an inventory on students' attitudes towards science and math before and after their participation in a school project using the Project Base Learning (PBL) strategy. These results suggested that the integration of mathematics in the science courses increased the students' attitudes towards mathematics and vice versa. We present the teachers' perceptions on these results

that were gathered in a focal group. Our current results allow a deep understanding on this phenomena and how the teachers that developed the PBL with their students, explain the changes in their attitudes.

Keywords: Interdisciplinary, professional development, attitudes towards science and mathematics, Project Based Learning.

INTRODUCCIÓN

En una era dominada por las ciencias, matemáticas, ingeniería y tecnología (Educación STEM, por sus siglas en inglés) es esencial que los maestros estén equipados con el conocimiento y destrezas requeridas para enseñar las ciencias y las matemáticas de manera significativa a sus estudiantes. Aunque existe un reconocimiento general de la importancia y utilidad económica de tener conocimiento científico y obtener carreras relacionadas a las ciencias y matemáticas para el futuro económico de las naciones (Dearing 1996, *National Academy of Engineering and National Research Council of the National Academies* 2000). Estudios sostienen que hay un descenso en el interés de los jóvenes en continuar carreras relacionadas a las ciencias y matemáticas (Smithers y Robinson 1988, Osborne et al. 2003).

Integrar ciencias y matemáticas en las escuelas ha sido punto de discusión por organizaciones tales como *School Science and Mathematics Association* (SSMA), la *National Council of Teacher of Mathematics* (NCTM), la *American Association for the Advancement of Sciences* (AAAS) y la *National Research Council* (NRC) (Furner y Kumar 2007). Un currículo integrado o interdisciplinario provee oportunidades a los aprendices de experiencias más relevantes, menos fragmentadas y más estimulantes (Frykholm, J. y Glasson, G. 2005, Koirala y Bowman 2003, Jacobs 1989), posibilitando actitudes positivas de los estudiantes hacia las ciencias y matemáticas. En un estudio detallado de Myers y Fouts (1992), estos encontraron que las actitudes más positivas de los estudiantes estaban asociadas

con un alto nivel de involucramiento, un alto nivel de apoyo personal, fuertes relaciones positivas con los compañeros de clases y el uso de una variedad de estrategias de enseñanza y actividades de aprendizaje inusuales. Teniendo en cuenta lo expuesto, el propósito de este estudio fue auscultar la percepción de maestros de ciencias y matemáticas del nivel secundario del efecto que su desarrollo profesional integrado ha tenido en las actitudes de sus estudiantes hacia las ciencias y matemáticas. Dos preguntas de investigación guiaron dicho estudio: (1) ¿Cómo perciben los maestros de ciencias y matemáticas el efecto en las actitudes de sus estudiantes hacia dichas materias al participar en una intervención educativa interdisciplinaria?, (2) ¿Cuáles aspectos perciben los maestros de ciencias y matemáticas que inciden en las actitudes de sus estudiantes hacia dichas materias al participar en una intervención educativa interdisciplinaria?

Estos maestros de ciencias y matemáticas eran participantes de un programa de desarrollo profesional basado en la integración de ambas materias, preparados y apoyados para integrar efectivamente el tema del manejo de los desperdicios sólidos en sus clases, el cual es uno de los problemas que más afecta nuestro ambiente. Se seleccionó la estrategia del Aprendizaje Basado en Proyecto (ABP), como la intervención educativa en la sala de clases para abordar el tema de los desperdicios sólidos y conocer su efecto en la actitud de los estudiantes hacia las ciencias y las matemáticas. El ABP aparenta ser especialmente efectivo apoyando el desarrollo de interés e identidad, sugiriendo que experiencias integradoras (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*, por sus siglas STEM) pueden

ser herramientas poderosas para construir el interés e identidad de los estudiantes en las áreas de ciencia, matemáticas, ingeniería y tecnología (*National Academy of Engineering and National Research Council of the National Academies* 2014). Como punto de partida para el estudio, se analizaron los resultados de un cuestionario administrado a los estudiantes de dichos maestros acerca de sus actitudes hacia las ciencias y matemáticas antes y después de participar en el ABP (Informe CSMER sometido a *National Science Foundation* 2014). Estos resultados sugieren que se deba al enfoque del trabajo interdisciplinario de integrar las ciencias y matemáticas en la intervención del proyecto escolar. Es de gran interés auscultar la percepción de los maestros al respecto.

REVISIÓN DE LITERATURA

Para muchos teóricos en el campo de la integración de las disciplinas, el acercamiento a la enseñanza interdisciplinaria, en específico de las ciencias y las matemáticas es un acercamiento al conocimiento profundo de las disciplinas. Estas pueden conectarse de una manera transformadora que transgrede las disciplinas, con el único fin de explicar la complejidad del entorno social en un sentido constructivista (Morin 2007, Klein 2010, Auccahuallpa 2014).

En la búsqueda por relacionar, conectar e integrar los conocimientos, se vincula la integración y con esta el trabajo interdisciplinario. Dicho trabajo integra diversos conocimientos, modos de pensar y comprender a partir de dos o más disciplinas (Boix-Mansilla y Gardner 2003). A pesar de los logros y beneficios de la integración, todavía en nuestro sistema educativo se siguen impartiendo los currículos por disciplinas. Es claro que la visión de la enseñanza interdisciplinaria rompe los esquemas de la enseñanza tradicional, por lo que surgen nuevos enfoques educativos como la integración (Torres Santomé 2006). Cuando

se trata de la enseñanza interdisciplinaria de las ciencias y las matemáticas en las escuelas, los maestros de Kinder a 3er grado, dentro de su práctica educativa casi siempre están haciendo conexiones de manera multidisciplinaria por la facilidad de impartir más de dos disciplinas. Mientras, en el nivel de 4to a 6to grados, la integración se dificulta por la departamentalización de la estructura curricular por disciplinas, haciendo al maestro de este nivel especialista en su disciplina, sea ciencias o matemáticas. Más aún, en el nivel secundario (7mo a 12mo grados), la integración de las disciplinas es casi nula, de acorde a la especialización de las asignaturas por parte de cada maestro.

En este sentido, Nikitina (2006) propone tres estrategias para el acercamiento a la enseñanza interdisciplinaria. La primera es la contextualización que es el proceso de vincular el conocimiento de las disciplinas al contexto social. La segunda es la conceptualización, que identifica conceptos centrales a dos o más disciplinas. Por último, la enseñanza debe estar centrada en el problema, vinculando varias disciplinas para examinar un fenómeno, esto es, una relación de acción y cambio social. El trabajo de Nikitina tiene un eje central epistemológico en la integración, el cual puede ayudar tanto a investigadores, educadores y maestros a encontrar las mejores prácticas educativas en la sala de clases. La planificación de un currículo integrado implica poner de manifiesto nuestros compromisos y creencias acerca de las funciones que tiene que cumplir la educación en nuestra sociedad. Por un lado, partiendo de lo que pensamos sobre las posibilidades de las personas para adquirir conocimientos, destrezas y valores y, por el otro lado, de cómo se construye todo esto.

Por lo general, esta tarea de la integración de las disciplinas le corresponde al maestro, quien a menudo se considera responsable de la ejecución del estudiante. Según la Ley *No*

Child Left Behind (NCLB 2001), las escuelas, y por ende el maestro, son responsables del aprendizaje de los estudiantes, particularmente del que queda evidenciado en las pruebas estandarizadas como las PPAA (Pruebas Puertorriqueñas de Aprovechamiento Académico) y las pruebas META-PR. El maestro es uno de los factores importantes en la escuela y como resultado de esto, las agencias profesionales y gubernamentales juntamente con las universidades han promovido la preparación continua del maestro en un afán de mejorar el aprovechamiento académico de los estudiantes, particularmente en las ciencias y las matemáticas.

Las investigaciones de Fast y Hanks (2010) Frykholm et al. (2006) y Romel-Esham (2007) reportaron los beneficios de las conexiones de ciencias y matemáticas en las salas de clases. Según el estudio realizado por la *National Academy of Engineering and National Research Council* (2014), se sabe que la integración puede ser efectiva y eficaz referente a la cognición y el aprendizaje porque las cualidades básicas de la cognición favorecen los conceptos que se relacionan y se organizan mejor. Esta organización académica publicó recientemente una investigación de dos años referente a las implicaciones de la educación integrada STEM en escuelas del nivel K – 12 de Estados Unidos. Las características principales del estudio fueron: los objetivos, los logros alcanzados, la naturaleza de la integración y la implementación.

En esta dirección, Frykholm y Glasson (2005) sostienen que “la conexión entre la matemática y la ciencia existe en casi cualquier nivel o tema que se podría elegir. Preguntarse, si las matemáticas son necesarias para enseñar las ciencias o viceversa, es como preguntarse si las tijeras son necesarias para un corte de pelo” (p. 130). Es decir, muchos fenómenos naturales que no se explican simplemente por la ciencia, necesitan de la matemática para dar

certeza de lo que uno está hablando. De ahí que, el conocimiento profundo de las ciencias y las matemáticas fortalece el proceso de la integración, y a la vez incita a especialistas a romper la estructura disciplinaria del sistema educativo.

Aprendizaje Basado en Proyectos

Una de las estrategias de enseñanza aprendizaje que ha tenido un efecto positivo en los estudiantes es la estrategia de ABP. Así, diversos estudios realizados con estudiantes en las escuelas demuestran que el ABP, como estrategia educativa de enseñanza aprendizaje, permite que los estudiantes construyan su propio conocimiento a partir de todas las experiencias vividas, con todo ello demuestran diferentes destrezas y habilidades para buscar y establecer soluciones a problemas de la vida diaria y ver la pertinencia (Velázquez y Figarella 2012, Barron y Darling-Hammond et al. 2008).

El aprendizaje basado en proyectos utiliza la problematización, la cual se refiere al proceso de facilitar la creación de conflictos cognitivos en los estudiantes. Así como también promover altos niveles de cognición, análisis, reflexión, investigación, creación y evaluación para construir nuevas experiencias de aprendizaje. En este aspecto los estudiantes, mientras trabajan en pequeños grupos colaborativos, exploran problemas del mundo real y cambios, desarrollando destrezas del currículo transversal. Según Velázquez y Figarella (2012) la razón más importante para trabajar con la problematización en el aprendizaje en la realización de proyectos en las escuelas son los resultados de las investigaciones relacionadas con la efectividad de los procesos educativos. Una de las organizaciones educativas más prestigiosas, la *National Research Council* (2014), presenta numerosos resultados sobre los procesos de aprendizaje y el desarrollo cognitivo en los estudiantes, lo que permite

promover en el sentido constructivista la construcción del conocimiento a partir de las experiencias desarrolladas en la realización de los proyectos escolares. También establece el trabajo de grupos colaborativos enfocados en que cada estudiante sea activo en el desarrollo de un aprendizaje significativo y pertinente a sus intereses como lo es el salvaguardar el medio ambiente y concientizar a la comunidad. Además, el aprendizaje basado en proyectos provee experiencias múltiples de aprendizaje que requieren exponer y hacer integraciones de una diversidad de contenidos provenientes de múltiples disciplinas como las ciencias y las matemáticas. Cada estudiante que realiza la integración de ciencias y matemáticas podrá entender la importancia del conocimiento de las disciplinas y verá la pertinencia de cada una de ellas para trabajar un problema real.

Actitudes Hacia las Ciencias y Matemáticas

Estudiar las actitudes de los estudiantes hacia las disciplinas de ciencias y matemáticas no es un tema reciente. Klopfer, en Bloom et al. (1971), clasifica las actitudes hacia las ciencias como un conjunto de comportamientos afectivos en la educación científica, en la cual la manifestación de actitudes es favorable hacia la ciencia y los científicos. Así como la aceptación de la investigación científica como una forma de pensamiento, la adopción de actitudes científicas, el disfrute de las experiencias de aprendizaje de la ciencia, el desarrollo de los intereses de la ciencia y las actividades relacionadas con la ciencia, y el interés en seguir estudios en dicha materia. Por otro lado, Woolnough (1994) incorpora una serie de componentes en sus medidas de actitudes para las ciencias. Incluye la percepción que tiene el maestro de ciencias y la ansiedad que provoca el estudio de las ciencias. En la parte subjetiva considera la autoestima, la motivación, el disfrute de la ciencia, las actitudes de sus compañeros y amigos hacia la ciencia, las actitudes de los padres, la naturaleza

del ambiente del salón de clases, los logros en la ciencia y el miedo al fracaso en un curso de ciencias (Osborne et al. 2003).

En el campo de las matemáticas, a diferencia de las ciencias, el estudio de las actitudes en los estudiantes apenas ha sido estudiado. Algunas investigaciones demostraron una relación positiva entre las actitudes de los estudiantes hacia las matemáticas y su rendimiento en matemáticas. Por lo que una manera que podemos intentar mejorar el rendimiento de un estudiante es mejorar su actitud. Esto conlleva el trabajo de los maestros y la misma comunidad escolar.

MÉTODOS

Esta investigación es un estudio de caso, en la cual participaron seis maestros de Ciencias y Matemáticas del nivel secundario de escuelas adscritas al Departamento de Educación de Puerto Rico (DEPR). Estos maestros, tres de ciencias y tres de matemáticas, fueron participantes en el proyecto *Maximizing Yield Through Integration* (MYTI-I3). Todos han sido certificados como maestros máster de ciencias o matemáticas y tienen maestría como el máximo grado profesional alcanzado. Esta certificación de maestro máster fue financiada por la *National Science Foundation* (NSF) y auspiciada por la División de Educación Continua y Estudios Profesionales del Recinto de Río Piedras de la Universidad de Puerto Rico (DECEP), donde se les ofreció un programa de desarrollo profesional intenso y continuo por cinco años, que los preparó en contenido de su materia, estrategias para mejorar su práctica educativa, la realización de investigación científica y educativa, y la redacción de artículos para publicación, entre otros. Luego de dicha certificación, en los últimos dos años, estos seis maestros han sido los participantes en el proyecto MYTI-I3.

Para la recopilación de información se utilizaron dos fuentes de datos: el grupo focal a los maestros y la revisión de documentos (el cuestionario administrado a los estudiantes de los participantes en el estudio, la descripción del proyecto escolar y su rúbrica de corrección). Se diseñó un protocolo para el desarrollo del grupo focal. Para obtener evidencia de la validez de contenido del protocolo se utilizó el juicio de dos expertas (Apéndice 1).

Esta investigación se desarrolló con el objetivo de estudiar la percepción de los participantes del efecto y sus razones, en las actitudes hacia las ciencias y matemáticas de sus estudiantes del nivel superior al participar en una estrategia educativa interdisciplinaria (ABP).

Descripción del Cuestionario *Encuesta Estudiantes Hacia las Ciencias y Matemáticas*

El equipo de evaluación del proyecto MYTI-I3 adaptó el instrumento desarrollado por Elizabeth Paciorek del *Rochester Institute of Technologies* (Project EDGE), el cual originalmente incluía 62 premisas. Se realizaron diferentes análisis de traducción y adaptación cultural (Alpha Cronbach – Confiabilidad .922). Todas las premisas se contestan utilizando una escala tipo Likert de 4 puntos (totalmente de acuerdo, de acuerdo, en desacuerdo y totalmente en desacuerdo). Se utilizó el programado SPSS V.17 para llevar a cabo las estadísticas descriptivas (media y desviación estándar), una prueba T y el análisis de covarianza (ANCOVA). Este cuestionario fue administrado a los estudiantes de los seis maestros máster participantes de este estudio, antes y después de realizar el proyecto escolar utilizando la estrategia ABP para establecer una comparación del cambio de sus actitudes hacia las ciencias y las matemáticas.

Descripción del Proyecto Escolar Basado en el Aprendizaje Basado en Proyecto

Los seis participantes desarrollaron un proyecto en su escuela con sus estudiantes, utilizando la estrategia de ABP. Dicho proyecto abordó un problema de temática ambiental y pertinente para sus estudiantes y su entorno. Incluyó una situación motivadora y el rol de los estudiantes en el diseño, la planificación y la ejecución del proyecto. Se integró al currículo del grado trabajando los conceptos científicos y matemáticos, y los estándares y expectativas correspondientes. Fomentó la integración de materias y hubo productos finales que los estudiantes crearon y divulgaron. En la Tabla 1 se presentan los proyectos escolares.

La rúbrica de corrección del proyecto escolar (Apéndice 2) es una adaptación de una publicada por Velázquez y Figarella (2012). Esta consistió de la integración de aspectos particulares de nuestra implantación de la estrategia de ABP, y los productos específicos esperados. Se evaluaron las propiedades psicométricas de la rúbrica, específicamente, la validez de contenido (mediante análisis crítico), viabilidad (a través de su uso) y confiabilidad ($r=0.601$). Las evaluadoras del proyecto MITY- I3 usaron la rúbrica antes descrita para evaluar la calidad del diseño de los proyectos. Aunque muchos maestros máster basaron los proyectos en temas comunes y formaron grupos de estudiantes en su diseño, cada uno implementó su proyecto de acuerdo a las sugerencias y contextos de sus estudiantes. Por esto, se evaluó cada proyecto de manera independiente basado en la descripción que cada maestro máster desarrolló para el informe de sus investigaciones en acción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados reflejaron lo siguiente: (1) los estudiantes de los maestros de matemáticas, mostraron un aumento estadísticamente

TABLA 1. Proyectos realizados por los participantes durante el año académico de 2013-14.

Código Maestro	Disciplina	Título del Proyecto
MC1*	Ciencia	La divulgación ambiental para analizar el impacto ambiental (paisaje natural) de nuestra comunidad
MC2	Ciencia	Alternativas para reducir la cantidad de desperdicios sólidos generados por estudiantes de escuelas públicas en cuatro áreas geográficas de PR
MC3	Ciencia	
MM1**	Matemáticas	Desarrollo potencial de la agricultura en áreas urbanas del Municipio de Orocovis
MM2	Matemáticas	Impacto de desperdicios sólidos en nuestra comunidad: El volumen y el área de superficie que ocupa
MM3	Matemáticas	

*MC1 – Primer maestro máster de ciencias

**MM1 – Primer maestro máster de matemáticas

significativo de sus actitudes hacia las ciencias, y (2) los estudiantes de los maestros de ciencias, mostraron un aumento estadísticamente significativo de sus actitudes hacia las matemáticas. Estos resultados sugieren que se deba al enfoque del trabajo interdisciplinario de integrar las ciencias y matemáticas en la intervención del proyecto escolar.

Percepción de los Participantes

Aprendizaje Significativo; Estudiantes se Apoderan de su Aprendizaje

El estudiante desarrollará su aprendizaje cuando llegue a ser significativo y esto sucede cuando se involucra a la persona totalmente (incluyendo sus procesos afectivos y cognitivos) y se manifiesta en un cambio en el comportamiento, actitudes y personalidad convirtiendo a la persona en una más funcional (Rogers 1981). Esto lo expresa uno de los maestros al señalar lo siguiente: “y para

nosotros, fue un aliciente ver que lo que estábamos haciendo era algo bueno, era algo, pues, positivo y que permitíamos que se lograra el aprendizaje con significado... era pues a lo que queríamos llegar.” (MM1)

Además para que ocurra aprendizaje significativo a nivel personal, el tema a estudiar debe ser importante, pertinente, e inherente para los objetivos personales del estudiante (Rogers 1969). Más aún, la estrategia ABP fomenta no solo el desarrollo y construcción del conocimiento en contenido de las disciplinas involucradas, sino también una variedad de destrezas y disposiciones, tales como curiosidad, solución de problemas, destrezas de comunicación y colaboración, toma de decisiones y aprendizaje autodirigido (Goodnough y Cashion 2009). Como bien señala MC1: “ellos se volvieron autodidactas. Sabes, esa oportunidad de ellos construir en un escenario real a la vez que aplicaban destrezas de ciencias, matemáticas y tecnología”. En

el caso de una maestra de matemáticas, esta expresó lo siguiente:

“No, no era algo que yo podía necesariamente darles u ofrecerles como maestra, sino que yo simplemente los guiaba y ellos buscaron esa información, la fueron internalizando al proyecto, o sea, ellos vieron que no solamente la maestra es la que posee el dominio del conocimiento sino que el conocimiento está ahí para hacer algo con él y aplicarlo a la vida diaria”. (MM2)

Motivación

Los aspectos positivos y ventajas que ofrece la integración de las ciencias y las matemáticas se evidencia en las investigaciones que se han realizado con este fin, ya que son los estudiantes los más beneficiados porque pueden hacer conexiones naturales entre y dentro de las diferentes disciplinas. Con ello ganan confianza y motivación en el proceso de aprendizaje de las materias para así mejorar el aprovechamiento académico de los estudiantes, el cual es uno de los problemas más grandes del sistema educativo (Auccahuallpa 2014, Fast y Hanks 2010, Frykholm y Glasson 2005, Reeder y Mosseley 2006, Sherrod, et al. 2009). Esto lo evidenciamos en lo que nos dice un maestro de ciencias:

“Yo creo que eso es una de las ganancias de este tipo de proyecto donde se fomenta que el estudiante tenga ese deseo, esa motivación, de él mismo buscar y aprender, más allá de lo que se da en la sala de clase”. (MC1)

Esta motivación puede servir para estimular en los estudiantes su interés en el estudio de las ciencias o matemáticas. Al realizar proyectos interdisciplinarios, los estudiantes comienzan a creer que la matemática es útil, importante y hasta interesante para la vida (Elliot 2006).

Estudios evidencian que la calidad de la enseñanza de la ciencia es un factor determinante a la hora del estudiante decidir continuar estudios en ciencias (Osborne et al. 2003). Esto acorde a lo que señala una de las maestras:

“...como le veían realmente significado a lo que estaban estudiando, pues lo veían más fácil. Y yo creo que en ese sentido en la clase de ciencias yo vi una mejoría, verdad, eh, en relación a las actitudes hacia las matemáticas. Yo creo que es quitar eso de las abstracciones. Cuando concretizamos yo creo que ellos pueden comprender mucho, mucho mejor. (MC2)

Wallace (2000) indica que el aumento en el interés puede ser más importante que sus habilidades matemáticas percibidas al determinar si estudian más matemáticas. Esto lo sostiene un maestro de matemáticas quien indica que la intervención afectó no solo a los estudiantes intervenidos. “Motiva al restante de la población estudiantil - al extremo de que esos niños de [grado] once, pues, nos preguntaban: ¿El año que viene vamos a realizar esas prácticas también aquí en la escuela?”. (MM1)

Concienciar Acerca de Problemas Ambientales

La integración de ciencias y matemáticas ha sido un tema central de muchas organizaciones educativas, no solo por el aprendizaje de las disciplinas, sino porque dentro de los objetivos de esta integración vincula a los estudiantes con su vida, sociedad y mundo de manera realista (Jacob 1989). Este fue uno de los aspectos más impactantes en la intervención. En el caso de una maestra (MC1), esta desarrolló un huerto escolar donde los neumáticos usados eran el material primario para la siembra. Este tipo de desperdicio representa un gran

problema para su manejo y disposición en Puerto Rico. MC3 señala: “Yo considero que hubo un momento del proyecto escolar que dejó de ser ciencia y matemática y se convirtió en mi vida diaria... Por su parte, MC2 plantea: “Empezar a cambiar actitudes para garantizar a corto y largo plazo esa conservación y protección de nuestro ambiente. Y yo creo que eso si se vio en todos los estudiantes, esa empatía”.

Fomenta la Investigación Científica/ Matemática

Los estudiantes no siempre usan su conocimiento en contextos integrados; por eso necesitan apoyo para obtener las ideas científicas y matemáticas relevantes en el contexto de un diseño tecnológico o de ingeniería para conectar esas ideas productivamente (NAE/NRC 2014). Los maestros de matemáticas y sus estudiantes resultaron ser los más afectados en su aprendizaje acerca de la investigación, ya que este es un área poco conocida y trabajada en dicha materia. Al trabajar el proyecto escolar “ellos se desempeñaron en las distintas investigaciones y pudieron tener distintos foros donde pudieron llevar su trabajo y ver el fruto de su trabajo que fueron los resultados de la feria científica” (MM1). Otro de los maestros expuso: “se trabajó el concepto volumen en términos de matemática y se trabajaron aspectos de la calidad del agua, entre otras cosas, para integrar las ciencias. A lo que voy es que el conocimiento estaba expuesto ahí, despertó investigación en ellos” (MM3). Una maestra de matemáticas señaló: “contribuía con la maestra de ciencias a conseguir los materiales para que entonces pudiéramos hacer un laboratorio sencillo en la clase de ciencias” (MM2). MM1 añade: “cuando ellos trabajaban la recolección de datos en feria, la

maestra de ciencias, que es muy buena en mi escuela, lo vio en términos positivos de cómo en este caso un miembro de facultad de matemáticas, pudo integrarse con ella en el proyecto de feria científica para ayudar a los jóvenes a poder analizar esos datos adaptando los modelos matemáticos”.

Aspectos que Inciden en las Actitudes de sus Estudiantes Hacia Dichas Materias

Plantea Situaciones de la Vida Real/ Pertinencia

Este estudio auscultó cómo esa experiencia interdisciplinaria fue inherente y relevante para los participantes, y cómo contribuyó en la formación personal del estudiante, sus actitudes, intereses vocacionales, su desempeño, en su ejecutoria estudiantil y cómo puede guiarlo en la transformación de su vida.

Un distintivo de los currículos integrados es el uso de situaciones o problemas reales en el salón de clases. Las matemáticas y las ciencias deben ser conectadas a situaciones de la vida real de modo que los estudiantes aprendan y comprendan mejor cómo las disciplinas les ayudan a resolver problemas reales (Beane 1995, Berlin y White 2010, Boix Mansill 2007, Pang y Good 2000, Aucahuallpa 2014). Uno de los maestros de ciencias indicó: “veían el problema de desperdicios sólidos como algo ajeno a ellos. Trabajar las dos materias le daba más pertinencia para ellos en su vida diaria, en su aplicación a la vida diaria. (MC3). Otro maestro de matemáticas señaló: “veían cómo ese contenido científico, lo podían ir integrando y haciéndolo pertinente a ellos mismos; la integración de ambas materias se podían ver en las distintas aplicaciones de la vida real” (MM1).

Interdisciplinariedad Promueve el Conocimiento Profundo de Ambas Materias

Ball (1990) plantea que para enseñar de manera que se permita a los estudiantes construir estructuras con conocimiento significativo, los maestros deben tener ricamente conectados el entendimiento y el contenido de su materia. Estos maestros han estado inmersos en un programa de desarrollo profesional, primeramente reforzando contenido en su área y luego fueron capacitados en contenido integrado de ciencia y matemáticas. Un maestro de ciencia establece que ese “dominio de ambas materias, ciencias y matemáticas, fue lo que dio ese conocimiento profundo al final” (MC2). Mientras, un maestro de matemáticas señaló: “recogimos una ganancia significativa en cuanto a conocimiento adquirido” (MM1). Otro maestro de matemáticas justificó que “sus estudiantes pudieran hablar de ciencias ya que para el ABP tenían que documentarse en el área de estudio. Eso les dio a ellos la seguridad para poder hablar de ciencias con otra gente sobre el problema que estaban presentando” (MM3).

Fomenta Creación de Comunidades de Aprendizaje

Uno de los aspectos considerados por los participantes es que tanto maestros, padres y estudiantes establecieron comunidades de aprendizaje que promovieron actividades relacionadas con las ciencias y matemáticas logrando aprendizajes significativos para todos. Esto en sintonía con los que señala NAE/NCR (2014): “Interacciones con otros educadores, facilitadores, padres, compañeros, provee modelos de cómo relacionarse con otros para solucionar problemas en el contexto STEM”. Así señala un maestro de matemáticas: “ayer fue un día donde no hubo clase, pero padres llegaron

con los estudiantes con las guaguas llenas de los materiales que utilizamos” (MM1). Otros maestros fomentaron la integración de la escuela con la universidad y otras agencias; por ejemplo, dicho maestro añadió: “ya están llegando a darles mentoría a los estudiantes y eso le ha servido de gran apoyo a la escuela”. Los maestros establecieron mejor relación con sus maestros de ciencias o matemáticas: “con la colaboración de la maestra de ciencias nuestros estudiantes redactaron una propuesta de investigación”. (MM2)

Integración de Ciencias y Matemáticas Usando ABP

Los participantes y sus estudiantes no habían trabajado anteriormente con la estrategia de ABP. Dicha estrategia se adopta no solo para mejorar el desarrollo de conocimiento del contenido, sino también para desarrollar destrezas tales como curiosidad, solución de problemas, comunicación, colaboración, toma de decisiones y aprendizaje auto dirigido (Goodnough y Cashion 2009). Los maestros pudieron evidenciar esto a través del proyecto escolar. Un maestro de matemáticas relató: “esa experiencia de verdad me dejó ver a mí que se llevó a cabo un trabajo y que ellos sí vieron esa integración que inicialmente, pues, ellos fueron bien honestos, ellos no la veían” (MM3). Otro señaló que uno de sus estudiantes le dijo: “!wow, profesora, jamás pensé cómo ibas a combinar matemáticas con basura, con el reciclaje, pero lo lograste!... así que esa experiencia de verdad, me dejó ver que ellos sí vieron esa integración” (MM3). Una maestra de ciencia resumió su experiencia: “pudimos ver diferentes contextos desde la química de la sala de clase y la matemática, y cómo eso impacta un problema como el de los desperdicios y cómo lo podemos utilizar para sembrados, produciendo alimentos y fomentando eso no solamente en la escuela, sino en la comunidad” (MC2).

CONCLUSIONES

Aunque la integración de las ciencias y matemáticas es una manera de promover en nuestros estudiantes su interés en dichas disciplinas y el potencial para profundizar en su aprendizaje, también representa un gran reto para ellos y sus maestros. Sin embargo, la selección de la estrategia ABP resultó ser una herramienta muy poderosa para la integración de ambas materias apoyando estudios relacionados en este campo (NAE/NCR 2014).

El éxito de los estudiantes depende del grado en el que las ciencias y matemáticas se integran de manera que se motiven e involucren en un aprendizaje significativo. Si las escuelas hacen más en términos de trabajar de forma integrada las ciencias y matemáticas, ellas influenciarán las vidas de sus estudiantes para siempre (Furner y Kumar 2007). Se recomienda la estrategia ABP para lograr la integración de ciencias y matemáticas porque fomenta: (1) el aprendizaje significativo; (2) la investigación en los estudiantes; (3) la motivación e interés en el estudio de las ciencias y matemáticas; (4) la concienciación de problemas en su entorno, entre otros.

Los maestros perciben que la interdisciplinariedad usando la estrategia ABP incide positivamente en las actitudes de sus estudiantes hacia las ciencias y matemáticas. Esta resultó una experiencia innovadora tanto para ellos como para sus estudiantes y para el resto de la comunidad escolar. Además, trabajaron en la solución de un problema de la vida real como lo es el manejo de los desperdicios sólidos, abordando temas o conceptos de las ciencias y matemáticas y entendieron la pertinencia y utilidad de ambas disciplinas. Todo esto conduce a un conocimiento profundo y dominio de las materias, tanto para maestros como para estudiantes.

Impactó de manera positiva la creación de comunidades de aprendizaje entre padres, maestros, personal de apoyo y estudiantes. Más importante aún, se fortalecieron las alianzas entre la escuela, la universidad y agencias públicas y privadas, estableciendo relaciones que puedan institucionalizarse más adelante.

PROYECCIONES

Esta modalidad de desarrollo profesional interdisciplinario debe divulgarse para atender la necesidad de los maestros y estudiantes de aprender conceptos de ciencia y matemáticas de una manera pertinente. Los maestros participantes rea-lizaron una investigación acción acerca del aprendizaje de conceptos de ciencias o matemáticas logrado por sus estudiantes al participar en el proyecto escolar utilizando la estrategia ABP. Se sugiere realizar investigación para relacionar el aprendizaje de los estudiantes con sus actitudes hacia las ciencias y matemáticas. De igual manera, estos participantes deben servir de asesores a otros maestros que les interesa integrar su materia con otra al igual que en la realización de proyectos utilizando la estrategia ABP.

AGRADECIMIENTOS

Las investigadoras desean resaltar la colaboración ofrecida por el Centro de Investigación Educativa en Ciencias y Matemáticas (CSMER, por sus siglas en inglés y financiado por la Fundación Nacional de Ciencias – NSF #1038166) de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras, en especial a su investigadora principal, la Dra. Michelle Borrero, su gerente la Sra. Brenda Santiago y la evaluadora, Dra. Milagros Bravo. De igual manera a los maestros participantes por aceptar ser entrevistados y compartir su experiencia.

REFERENCIAS

- Aucahuallpa Fernández, R. 2014. Estudio fenomenológico de la integración de las ciencias y las matemáticas en maestros K – 6. Disertación. Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, Puerto Rico.
- Ball, D.L. 1990. Prospective elementary and secondary teachers' understanding of division. *Journal for Research in Mathematics Education* 21:132-144.
- Darling-Hammond, L., B. Barron, P.D. Pearson, A.H. Schoenfeld, E.K. Stage, T.D. Zimmerman, G. N. Cervetti, and J. Tilson. 2008. *Powerful learning: what we know about teaching for understanding*. John Wiley and Sons, Inc., Chichester, United Kingdom
- Beane, J.A. 1995. Curriculum integration and the disciplines of knowledge. *Phi Delta Kappan* 76: 616-622.
- Berlin, D.F. y A.L. White. 2010. Preservice mathematics and science teachers in an integrated teacher preparation program for grades 7-12: a 3-year study of attitudes and perceptions related to integration. *International Journal of Science and Mathematics Education* 8:97-115.
- Boix Mansilla, V. 2007. "Playing sound waves", quality interdisciplinary teaching in middle school classrooms and beyond. Harvard Graduate School of Education, Cambridge, MA. http://www.interdisciplinarystudiespz.org/pdf/VBM_Sound-waves_2007.pdf
- Boix Mansilla, V., y H. Gardner. 2003. Assessing interdisciplinary work at the frontier: An empirical exploration of "symptoms of quality". Goodwork Project Report Series 26:1-13.
- Dearing, R. 1996. Review of qualifications for 16-19 year old summary report. School Curriculum and Assessment Authority, England.
- Elliot, A. 2006. Hierarchical model to approach avoidance-motivation. *Springer* 30:111-116.
- Fast, G., y J. Hanks. 2010. Intentional integration of mathematics content instruction with constructivist pedagogy in elementary mathematics education. *School Science and Mathematics* 110:330-340.
- Frykholm, J., y G. Glasson. 2005. Connecting science and mathematics instruction: Pedagogical context knowledge for teachers. *School Science and Mathematics* 105:127-141.
- Frykholm, J., G. Glasson, y L. Vierling. 2006. Learning mathematics and earth system science, via satellite. *Journal of Geoscience Education* 54: 262-271.
- Furner, J.M., y D.D. Kumar. 2007. The mathematics and science integration argument: A stand for teacher education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education* 3:185-189.
- Goodnough, K., M. Cashion. 2009. Exploring Problem-Based Learning in the context of high school science: Design and implementation issues. *School Science and Mathematics* 106: 280-295.
- Jacobs, H. H. 1989. *Interdisciplinary curriculum: Design and implementation*. Association for Supervision and Curriculum Development, Alexandria, VA.
- Klein, J.T. 2010. A platform for a shared discourse of interdisciplinary education. *Journal of social science education* 5:10-18.
- Klopfer, L.E. 1971. *Evaluation of learning science*. Handbook of formative and summative evaluation of student learning. McGraw-Hill, London.
- Koirala, H.P., y J.K. Bowman. 2003. Preparing middle level preservice teachers to integrate mathematics and science: Problems and possibilities. *School Science and Mathematics* 103:145-154.

- Morin, E. 2007. La cabeza bien puesta. Repensar la reforma. Reformar el pensamiento. Primera edición. Ediciones nueva visión, Buenos Aires.
- Myers, R. y J. Fouts. 1992. A cluster analysis of high school science classroom environments and attitude toward science. *Journal of Research in Science Teaching* 29:929-937.
- National Academy of Engineering and National Research Council of the National Academies 2014. STEM integration in K-12 education. Status, prospects, and agenda for research. The National Academies Press, Washington, D.C.
- Nikitina, S. 2006. Three strategies for interdisciplinary teaching: contextualizing, conceptualizing, and problem-centring. *Journal curriculum studies* 38:251-271.
- Osborne, J., S. Simmon, y S. Collin. 2003. Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International Journal Science Education* 25:1049-1079.
- Pang, J., y R. Good. 2000. A review of the integration of science and mathematics: Implications for further research. *School Science and Mathematics* 100: 73-82.
- Reeder, S., y C. Moseley. 2006. Oh Deer! Predator and prey relationship: Students make natural connections through the integration of mathematics and science. *Science Activities* 43:9-14.
- Rogers, C. 1981. Psicoterapia centrada en el cliente: práctica, implicaciones y teoría. Editorial Paidós Ibérica, Barcelona.
- Rommel-Esham, K. 2007. How much popcorn will our classroom hold? *Science and Children* 45(2): 22-26.
- Sherrod, S.E., J. Dwyer, y R. Narayan. 2009. Developing science and math integrated activities for middle school students. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology* 40:247-257.
- Smithers, A., y P. Robinson. 1988. The growth of mixed A-levels. Charmichael Press, Manchester.
- Torres Santomé, J. 2006. Globalización e interdisciplinariedad: El curriculum integrado. Quinta edición. Ediciones Morata S. L., Madrid.
- Velázquez, L. y Figarella, F. (2012). La problematización en el aprendizaje: Tres estrategias para la creación de un currículo auténtico. 1Ed. Puerto Rico: Editorial Isla Negra.
- Wallace, D.L. 2000. Mathematics across the curriculum at Dartmouth. *Focus* 3:6-10.
- Woolnough, B. 1994. Effective science teaching. Open University Press, Buckinham.

APÉNDICE 1. Protocolo De Grupo Focal De Maestros De Ciencias

Las Actitudes Hacia Las Ciencias De Los Estudiantes Como Resultado De Una Enseñanza De Matemáticas Integrada Con Ciencias.

Fecha	01 de noviembre de 2014		
Lugar	AIACiMa Salón 206		
Hora	Inicio:	9:16 am	Terminación: 10:00 am

PARTICIPANTES

- Moderadora: Roxana Auccahuallpa; Marta Fortis
- Anotadora: Pascua Padró
- Participantes: Seis maestros de matemáticas y ciencias del nivel secundario.

DURACION

- Aproximadamente una hora de duración

PREPARACION PREVIO AL GRUPO FOCAL

1. Seleccionar un lugar que tenga un buen ambiente (temperatura, luz, ente otros)
2. Organizar el lugar donde se llevará a cabo el grupo focal
 - a. Rotular la puerta indicando el desarrollo del grupo focal para evitar interrupciones.
 - b. Organizar las sillas, de manera que todos los participantes estén a la misma distancia y visibilidad.
3. La investigadora deberá realizar una prueba preliminar del equipo de grabación.

OBJETIVOS

Basados en el análisis de los datos del cuestionario de actitudes hacia las ciencias y matemáticas que completaron los estudiantes de los Master de ciencias y matemáticas del nivel superior, estos mejoraron de manera estadísticamente significativa, sus actitudes hacia las ciencias y matemáticas.

Deseamos auscultar la percepción que tienen los maestros Master de Ciencias y Matemáticas referente a las actitudes que tienen sus estudiantes hacia las ciencias y matemáticas luego de una experiencia de enseñanza integradora de ambas materias.

INTRODUCCION AL GRUPO FOCAL

1. Se explicará a los participantes los objetivos del grupo focal.
2. Es importante destacar que sus contestaciones, serán grabadas y se mantendrán en estricta confidencialidad
3. Sólo tendrán acceso a los datos crudos de la investigación los miembros del equipo de líderes del Proyecto, la investigadora Roxana Auccahuallpa, las estudiantes subgraduadas encargadas de transcribir el grupo focal y la anotadora Pascua Padró.
4. Se usarán seudónimos en todos los documentos que informen los resultados de la investigación.

APÉNDICE 1. Protocolo De Grupo Focal De Maestros De Ciencias

Las Actitudes Hacia Las Ciencias De Los Estudiantes Como Resultado De Una Enseñanza De Matemáticas Integrada Con Ciencias. (continuación).

PREGUNTAS GUIAS

Introducción: Quisiéramos comenzar pidiéndoles que compartan su experiencia al trabajar su experiencia en su desarrollo profesional integrado.

Pregunta clave 1: Cómo maestro de ciencias o matemáticas, describa su experiencia con el trabajo de proyectos escolares integrando ambas disciplinas.

Pregunta clave 2: ¿Notaste que al integrar las ciencias en la enseñanza de las matemáticas o viceversa mejoró la actitud de los estudiantes hacia la materia que no enseña? Explique este proceso.

Pregunta clave 3: ¿Qué aspectos motivaron a que sus estudiantes mejoraran sus actitudes hacia la materia que no enseñas?

Pregunta clave 4: ¿Cómo puede explicar que los dos ítems del cuestionario en que sus estudiantes demostraran mayor ganancia luego de la experiencia del proyecto escolar fueran:

- a. Me gusta hablar de Ciencias con otras personas.
- b. Me gusta leer de Ciencias fuera de la clase.

Matemáticas

- a. Soy bueno/a solucionando problemas de ciencia.
- b. Yo recuerdo la mayor parte de lo que aprendo de ciencias.
- c. La ciencia es fácil para mí.

Ciencias

Pregunta clave 5: ¿Habías tenido otras experiencias en tu escuela integrando ciencias y matemáticas (no solo asociadas al proyecto I³)?

CIERRE DEL GRUPO FOCAL

1. Se aclarará cualquier duda o pregunta que tengan los participantes.
2. Se agradecerá a los participantes su tiempo y colaboración en esta investigación.

APÉNDICE 2. Rúbrica de corrección - Proyecto Escolar Comunitario.

Criterio	Cumple (10 ptos)	Cumple parcialmente (5 ptos)	No cumple (0)	Ptos
El proyecto:				
Está centrado y dirigido por el estudiante				
Está claramente definido: inicio, desarrollo y final				
Tiene un contenido significativo para los estudiantes; directamente observable en su entorno				
Trabaja con un problema del mundo real				
La investigación es de primera mano				
Es sensible a la cultura local y culturalmente apropiado				
Los objetivos están relacionados con los estándares y expectativas del currículo				
Se integra al currículo de alguno de los grados/cursos que enseñará el/la maestro/a máster en el próximo año académico				
Fomenta la integración de las ciencias, las matemáticas y otras disciplinas.				
Presenta un producto tangible que se puede compartir con una audiencia				
Tiene conexiones entre lo académico, la vida y las competencias laborales.				
Sirve de contexto adecuado para que el maestro realice una investigación acción sobre el aprendizaje de los estudiantes.				
Ofrece oportunidades de retroalimentación y evaluación por parte de expertos				
Provee oportunidades para la reflexión y la auto evaluación por parte del estudiante				
La evaluación o valoración es auténtica (portafolios, diarios, etc)				
PUNTUACION TOTAL(150)				

STUDENTS' ACADEMIC ACHIEVEMENT IN CHEMISTRY AFTER IMPLEMENTING A PBL STRATEGY

Myrna Hernández

¹Center for Science and Math Education Research

²Puerto Rico Department of Education

ABSTRACT

An action research was conducted to study the students' academic achievement in the areas of chemical and physical changes of matter after implementing a Project-Based Project strategy, through the project entitled Educate, Act, and Live School Project, in the context of solid waste handling and disposal and to modify the alternative conceptions held by the students. The research was a pre-experimental and quantitative one conducted with a sample of 26 students of the chemistry course from an urban high school in Puerto Rico. The results showed that this strategy was effective to improve the academic achievement and alternative conceptions of students on the concepts of physical and chemical changes of matter. It also helped to modify most of their alternative conceptions on these topics. The results of the $t_{student}$ test showed that there was a significant increase between the results of the pre- and post- tests ($T = 8.58$, $p = .000$).

Keywords: physical change, chemical change, project-based learning, solid waste, alternative conception.

RESUMEN

Se desarrolló una investigación acción utilizando un diseño pre-experimental con método cuantitativo para estudiar el aprovechamiento académico de los estudiantes en los conceptos de cambios químicos y físicos de la materia utilizando la estrategia Aprendizaje Basado en Proyectos (PBL, por sus siglas en inglés), a través del proyecto escolar *Edúcate, Actúa y Vive*, y modificar sus concepciones alternas. Participaron 26 estudiantes de un curso de química de una escuela superior urbana en Puerto Rico. Los resultados demostraron la efectividad de la estrategia para mejorar el aprovechamiento académico de los estudiantes en los conceptos de cambios físicos y químicos de la materia. De igual manera, ayudó a modificar las concepciones alternas relacionadas a estos conceptos, que tenían los estudiantes. Los resultados del análisis $t_{student}$ demostraron que existe un aumento significativo entre los resultados de la pre y pos prueba ($T = 8.58$, $p = .000$). Estos resultados demostraron que la implantación de la estrategia PBL fue efectiva para aumentar el aprovechamiento académico de los estudiantes en los conceptos estudiados y en sus concepciones alternas.

Palabras clave: cambio químico, cambio físico, aprendizaje basado en Proyecto, desperdicios sólidos, concepciones alternas.

INTRODUCTION

Science education has undergone major transformations in the past decade. The economic development of the most competitive countries in the world has been linked to the emphasis that these have given to scientific and technological knowledge. According to Weis et al. (2003) the American nation is far from the ideal of providing high quality education in science and mathematics. In addition, these researchers found that results from the Program for International Student Assessment (PISA), indicate that we stand behind countries like China and Finland in student learning in these areas. Therefore, it is necessary to reduce this gap that separates us from the most competitive countries in the world. We must make substantial changes in teaching and expose students to relevant information that enables them to develop effective strategies to master scientific concepts and seek solutions to common problems that affect us.

Educators should direct their efforts towards implementing educational strategies and methodologies to solve problems of daily life. One of these educational strategies is project-based learning (PBL). This project is a learning strategy in which students plan, implement, and evaluate projects that can be applied in the real world, far beyond the classroom (Blank and Harwell 1997). The 2003 Science Curriculum Framework of the Department of Education of Puerto Rico established the need to transfer knowledge and skills learned to relevant situations in the lives of students, given that if teaching focuses only on the content, students will lack reasoning skills, and the information they will receive will have little importance in the outside world.

The Statistics Institute of Puerto Rico revealed that in the school year 2011-2012, 56 percent of eleventh grade students from public schools were below the proficient level in the

subject of science (Disdier 2014). To address this situation and change educational practices, an action research was carried out that led to the development of a PBL in the context of solid waste handling and disposal through the Act, Educate, and Live School Project. This project's objective was to expose eleventh grade chemistry students from an urban high school in Puerto Rico to relevant and motivating experiences in a real scenario. The question that led the research was: would the students' academic achievement in the areas of chemical and physical changes of matter improve after implementing a PBL strategy in the context of the Educate, Act, and Live School Project?

Action research comprises systematic reflections on teacher practices to improve the teaching-learning processes (Lewin 1946). Therefore, the research objective was to improve the academic achievement of students in the topics of physical and chemical changes of matter, and to modifying their alternative conceptions through the PBL strategy. As shown in Tables 1 and 2, these topics are aligned with the Content and Grade Expectations Standards of the Science Program (Puerto Rico Department of Education 2007) and the *Next Generation Science Standards* (NGSS Lead States 2013).

The Educate, Act, and Live School Project enabled the development of basic concepts from the chemistry course (physical and chemical changes of matter), and at the same time it addressed an environmental problem affecting Puerto Rico, specifically in the generation, disposal, and handling of solid waste. As defined in the Strategic Plan for Solid Waste Handling (Solid Waste Authority 2003), "solid waste is material that is discarded even if it has economic value" (p. 29). The project also helped to obtain a better understanding of the alternative conceptions that students had at the beginning of the research. The alternative conceptions are pre conceived ideas that are

TABLE 1. Science Content Standards from the Department of Education of Puerto Rico (Puerto Rico Department of Education 2007).

Standard	Execution Expectation (Standard, Standard Name and/or Definition, Grade, Expectation and Expectation Number)
Interactions (I)	I.Q.2.2: It contrasts between the formation of a mixture and the occurrence of a chemical reaction after combining two or more substances. I.Q.4.1: Identifies and provides examples of evidence that indicates when a chemical reaction has occurred, such as bioluminescence, rusting metal, fireworks and others.
Conservation and Change (C)	C.Q.1.2: Applies the law of conservation of mass to describe changes in a chemical reaction. C.Q.1.4: Establishes that in a chemical reaction the type and amount of atoms are conserved, but the way they are combined changes.
Systems and Models (SM)	SM.Q.4.1: Explains the limitations and usefulness of different models (physical and mental) to represent concepts such as atomic, kinetic-molecular models, and others.
Structure and Levels of Organization of Matter (EM)	EM.Q.1.1: Compares and contrasts the properties of solutions, suspensions, and colloids and provides examples of these types of mixtures. EM. Q.1.2: Selects appropriate methods to separate mixtures and identify substances in them on the basis of their characteristic properties (settling, filtration, crystallization, chromatography, and others).

TABLE 2. Alignment with the Next Generation Science Standards (NGSS Lead States 2013)
MS- PS1: Matter and Its Interactions.

Science and Engineering Practices	Disciplinary Core Ideas	Crosscutting Concepts
<ul style="list-style-type: none"> • Planning and carrying out investigations • Obtaining, evaluating, and communicating information 	<p>PS2.B: Types of interactions</p> <p>Attraction and repulsion between electric charges at the atomic scale explain the structure, properties, and transformations of matter, as well as the contact forces between material objects.</p>	<p>Structure and function</p> <p>Investigating or designing new systems or structures require a detailed examination of the properties of different materials, the structures of different components, and connections of components to reveal its function and/or solve a problem.</p>
<p>HS. Chemical Reactions</p> <ul style="list-style-type: none"> • Constructing explanations and designing solutions 	<p>PS1.B: Chemical reactions</p> <p>The fact that atoms are conserved, together with knowledge of the chemical properties of the elements involved, can be used to describe and predict chemical reactions.</p>	<p>Energy and matter</p> <p>The total amount of energy and matter in closed systems is conserved.</p> <p>Changes of energy and matter in a system can be described in terms of energy and matter flows into, out of, and within that system.</p>

developed by each person through formal and informal education (Pozo and Gómez Crespo 1998). According to my experience of twenty five years in the classroom, the concepts studied with traditional educational strategies are forgotten with relative ease, due to the little relevance they have for the students, and the lack of depth they show when teaching them.

The chemistry course is characterized by abstractions, which affects the significant understanding of the concepts. For this reason, it is necessary to relate the microscopic structure and the macroscopic behavior of the substances. That is, if we initially emphasize on the microscopic aspect of matter and not just its appearance, students will understand the way in which matter is transformed (Brunce and Gabel 2002, Pozo Muncio et al. 1991). Most of the alternative conceptions that students have relate to the fact that they have no clear idea about the corpuscular nature of matter (De la Fuente et al. 2003). To address this situation, the instrument used in the research identified the most common alternative conceptions related to the topics covered. Diagrams showing the studied microscopic aspect of matter were included.

Goodnough and Cashion (2006) pointed out that the PBL strategy involves new challenges for teachers and students. Also, these authors stated that there is a need for further studies to determine the effectiveness of this strategy on the education of students in K-12 levels. However, Malone (1984) indicated that there are several stages that teachers and students must go through to implement PBL, and this suggests a change in attitudes towards educational strategy.

To improve the understanding of chemistry, it is necessary to address the topic of alternative conceptions. According to Solbes (2009), studies related to alternative conceptions go back to the 1980s. According to Campanario

and Otero (2000) there are different ways to refer to alternative conceptions, such as previous ideas, alternate ideas, and preconceptions, among others. On this regard, Furio More et al. (2006) emphasized the importance of expanding research on alternative conceptions to determine why they linger through the years, and the need to search for options to modify existing alternative conceptions.

Campanario and Otero (2000) stated that students maintain some ideas about scientific concepts that in many cases do not match scientific knowledge. They also stated that many of the conceptions are difficult to change, since they are closely related to life experiences and, therefore, take time to be modified. Despite changes in teaching models on recent years, students continue with alternative conceptions in regards to the structure of matter. Although research has been conducted in the field of alternative conceptions, the results have not been incorporated into educational practices to make significant changes in the way science is taught.

Pozo et al. (1991) pointed out the notions related to the nature of matter that students should acquire during high school to improve chemistry education, including the conservation of non-observable properties of matter. Matter can undergo transformations that are classified as physical or chemical changes. Chemical changes are those where the nature of the substance is altered forming a new substance with new properties; physical changes are those in which the substances retain their identity.

METHODOLOGY

A quantitative study with a pre-experimental design was carried out. In this design only one group was tested before and after a stimulus or experimental treatment (Hernández Sampieri et al. 2003). The objective of the research was to determine whether students' academic

achievement and alternative conceptions in the areas of chemical and physical changes of matter improved after implementing a PBL strategy (Educate, Act, and Live School Project).

Convenience sampling was applied. Therefore, participants were selected based on the pre-determined attribute (Patton 1980) of being enrolled in the chemistry course of the urban high school in Puerto Rico where the researcher teaches. The sample consisted of 26 eleventh grade, female and male students. On average they were 15 or 16 years old, their grade point average ranged between 3.5 and 4.0 on a four point scale. Written parental consent were obtained from each student willing to voluntarily participate in the research. The research broadly consisted of implementing PBL strategy and measuring the students' content knowledge before and after this educational intervention. The research was conducted during the months of February and May 2014.

A test was used (Appendix 1) to assess the students' content knowledge before and after the intervention. To develop the test, literature was reviewed in search of common alternative conceptions related to the topic of changes in matter. The alternative conceptions were then paired with the eleventh grade chemistry standards and expectations. A total of 18 questions were drafted following two main objectives: (1) assess the incidence and persistence of certain alternative conceptions related to changes in matter, and (2) address the subject of changes in matter through environmental topics. Two of the questions (6 and 18) required the students justify their answers. Around 30 minutes of class time was allocated to the completion of each test administered at the beginning and culmination of the four-month intervention period, in the course's regular classroom setting.

To measure academic achievement, numerical scores were used in multiple-choice questions and questions corrected with rubrics. A score of 1 was assigned to questions that were answered correctly and a score of 0 was given to the ones that were incorrectly answered. Questions 6 and 18 were assigned a score of 1 if the justification met with the established requirements, and a score of 0, if it was not met. Question number 6 included point diagrams representing physical and chemical changes. The student had to select the response that represented a chemical change and justify his/her answer. In question number 18 additional alternative conceptions related to chemical and physical changes of matter were addressed.

A $t_{student}$ test for dependent samples (data from pre- and post- tests) was performed to determine if participation in the Educate, Act, and Live School Project PBL strategy increased the students' academic achievement on the topic of physical and chemical changes in matter. To meet the analysis requirements of the $t_{student}$ test, normality was verified using the Anderson-Darlin test (Minitab 2014, Snedecor and Cochran 1989). Data analysis processes were performed with Minitab 17.

The implementation of the Educate, Act, and Live project consisted of students' active participation in the following activities: information search, graphic preparation, organizers, educational lectures on the topic of solid waste, preparation of a school garden, laboratories, fieldtrips to solid waste management facilities, *PowerPoint* presentations, and group discussions. The research was developed using the PBL strategy to teach the concepts of physical and chemical changes of matter in the context of Puerto Rico's solid waste management problem. The following paragraphs describe the most significant activities carried out during the intervention.

It all started with a motivating activity. First a video was shown with the purpose of exposing the students to the problem of solid waste in the Island. At the end of the video, the researcher prompted a socialized discussion. As part of the motivating activity, students were told to gather all the things thrown-out during a day by the people living in their homes and periodically take pictures of it to raise awareness of the amount of solid waste they and their families generate. The garbage was brought to the classroom where it was classified by the students, according to its physical properties (color, texture, and shape).

The second activity consisted of searching for information in the Internet. Five cooperative groups were made-up according to the five alternatives for handling solid waste: reuse, recycle, reduce, energy recovery, and landfill. Once the groups were organized, the students took different roles (leader, recorder, time keeper, and photographer). They were given a sheet with guiding questions to search for information about the problem of solid waste and the changes of matter: form, size, color, decay, fermentation,

oxidation, and magnetism. This activity ended with a socialized discussion.

The third activity was divided into two parts: educational talks by staff from solid waste management agencies and field studies outside the classroom context. The goal was for students to identify the different alternatives for handling and disposing solid waste, and the physical and chemical changes that accompany each of these alternatives. For the field studies, students visited a landfill, an aluminum compactor, and a used oils processor. Here, students received educational talks offered by the agencies staff. After each talk or field study, a socialized discussion was conducted by the researcher in the classroom.

The fourth activity was to build a school garden with used car tires, compost, and shredded newspaper. The objective of this activity was for students to observe the physical changes that occur in matter and, through laboratory analyses, corroborate the chemical changes that took place. Students performed pH, nitrate, nitrite, carbonate, color, smell, and texture tests to demonstrate the chemical and physical changes (Figs. 1 and 2). To assess

FIGURE 1. Students performing chemical tests in the school garden.



FIGURE 2. Students performing chemical tests in the laboratory.



this activity, the students prepared a written report about the physical and chemical tests performed.

Finally, each group studied, designed and presented to the rest of the group a *PowerPoint* presentation about the alternative for handling solid waste. The purpose of the presentation was to disseminate the acquired knowledge to the other students. A checklist was used (Appendix 2) to assess the presentations.

RESULTS AND DISCUSSION

The results analysis of the pre- and post- tests showed a gain of 2.43 points on the multiple choice questions and 2.44 points in the open-end questions, as shown in Figures 3 and 4. An Alpha Cronbach's (.673) analysis of internal consistency was performed. In spite of this score, it should be noted that the instrument was a preliminary one. The results of the Anderson-Darling test ($AD = .452$, $p = .252$) asserted the normality of the data. The results of the $t_{student}$ test showed that there was a significant increase between

the results of the pre- and post- test ($t = 8.58$, $p = .000$).

CONCLUSION

We have seen that PBL strategy in the context of solid waste management increased the academic achievement of participating students in the topic of physical and chemical changes of matter. This result is consistent with previous research (Dods 1996, Mackenzie et al. 2003, Ram 1999, Yuzhi 2003). In addition, this strategy proved to be a motivational tool to improve the understanding of participating students about key topics of chemistry, which goes in harmony with these investigations.

The analysis of the results showed that most students modified their alternative conceptions about the changes of matter. In addition, a significant increase was observed in the academic achievement of students on the topics related to the changes of matter. When comparing the results between the pre- and post- tests, it can be determined that the strategy

FIGURE 3. Results of multiple-choice items on the pre and post tests.

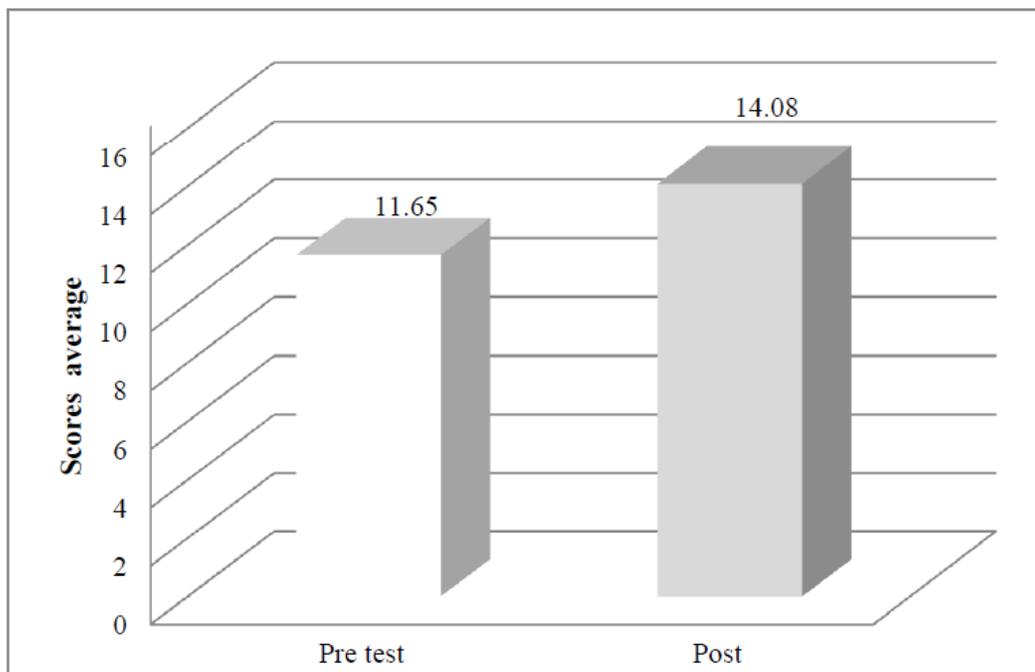
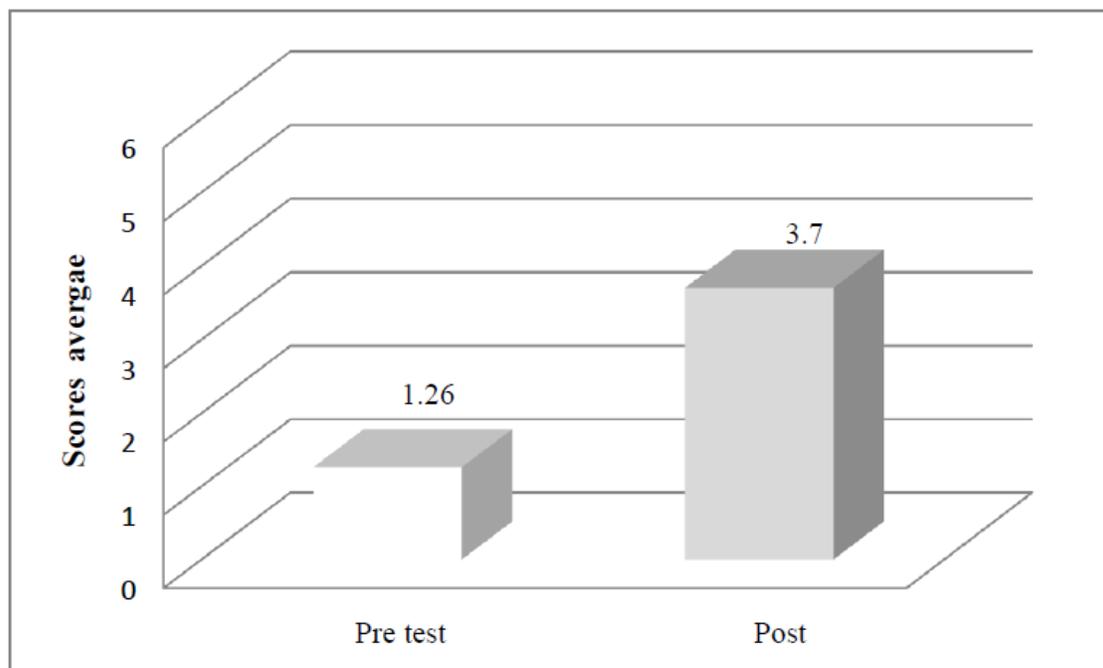


FIGURE 4. Results of the open end questions in the pre and post-tests.



used was effective in teaching the concepts of chemical and physical changes of matter.

The PBL intervention was an effective strategy to develop skills and competencies in oral and written communication, promote cooperative work, and improve the decision-making skills in students. Although the PBL strategy was effective in improving the academic achievement of students, the implementation thereof required a change in attitude on the teacher and the student. The teacher acted as a facilitator and the students had the opportunity to work independently and cooperate with others to achieve a better significant learning in relation to the topics covered through the various activities of PBL. A limitation of the research is that results only apply to participating students in the research.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author express her thanks to all the students, teachers, staff and community members that contributed to the development of this project. I also express my gratitude to the Center for Science and Math Education Research (Funded by the National Science Foundation – NSF #1038166) staff who collaborated in the action research described in this paper, specially, Marta Fortis, Michelle Borrero, Jorge Rodríguez, and Claribel Ojeda.

REFERENCES

- Blank, W. and S.H. Harwel. 1997. Promising practices for connecting high school to the real world. US Department of Education. Office of Vocational Adult Education. University of South Florida.
- Brunce, D.M. and D. Gabel. 2002. The differential effects of teaching the particulate nature of chemistry on the achievement of men and women. *Journal of Research in Science Teaching* 39:911-927.
- Campanario, J.M. and J.C. Otero. 2000. Beyond the previous ideas such as learning difficulties: The thinking patterns, the epistemological concepts and metacognitive strategies of students in science. *Science Teaching* 18: 155-169. <http://www2.uah.es/jmc/an4.pdf>
- Disdier, O.M. 2012. Statistical Yearbook of the Education System: School Year 2011-2012. Statistics Institute of Puerto Rico. Puerto Rico Commonwealth. <http://www.estadisticas.gobierno.pr/iepr/LinkClick.aspx?fileticket=m8j9w8ftbhE%3D&tabid=165>
- Dods, R.F. 1996. A problem based learning design for teaching biochemistry. *Journal of Chemical Education* 73: 225-228. doi: 10.1021/ed073p225.
- De la Fuente A.M., M.T. Perrotta, G. Dima, E. Gutiérrez, V.C. Capuano, and B.R. Follari. 2003. Atomic Structure: Analysis and study of the ideas of the students. *Science Teaching. Journal of Research and Teaching Experiences* 21: 124-127. <http://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21899/21732>
- Furió Más, C.J., J. Solbes Matarredona, and J. Carracosa Alís. 2006. Alternative ideas about scientific concepts: Three decades of research. *Alambique. Teaching Environmental Sciences* 21: 64-67.
- Goodnough, K. and M. Cashion. 2006. Exploring problem-based learning in the context of high school science: Design and implementation issues. *School Science and Mathematics* 106: 280-295. doi: 10.1111/j.1949-8594.2006.tb17919.x.
- Hernández Sampieri, R., L.P. Collado Baptista, and C. Fernández Collado. 2003. *Metodología de la investigación*. Third edition. McGraw-Hill, Mexico
- Lewin, K. 1946. Action research and minority problems. *Journal of Social Issues* 2: 34-46. doi: 10.1111/j.1540-4560.1946.tb02295.x.

- Mackenzie, A.M., A.H. Johnstone, and R.I.F. Brown. 2003. Learning from problem based learning. *University Chemistry Education* 7: 1-14.
- Malone, M.R. 1984. Concern-based adoption model (CBAM): Basis for an elementary method course. *Journal of Research in Science Teaching* 21: 755-768.
- Minitab. 2014. Normality tests and rounding. <http://blog.minitab.com/blog/the-statistical-mentor/normality-tests-and-rounding>
- NGSS Lead States. 2013. Next Generation Science Standards for States by, States. National Academies Press, Washington, DC, USA. <http://www.nextgenscience.org/sites/ngss/files/NGSS%20DCI%20Combined%2011.6.13.pdf>.
- Patton, M. 1980. Qualitative evaluation and research methods. Sage Publications, United Kingdom.
- Pozo Muncio, J.I., M.A. Gómez Crespo, and M. Limón. 1991. Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: Las ideas de los adolescentes sobre la química. Madrid: Centro de Investigación y Documentación Educativa. Educational Research and Documentation Center, Madrid.
- Pozo, J.I. and M.A. Gómez Crespo. 1998. Aprender y enseñar ciencia. Ediciones Morata, Madrid.
- Puerto Rico Department of Education. 2003. Marco curricular: Programa de ciencias. National Institute for Curricular Development. Commonwealth of Puerto Rico. http://ponce.inter.edu/cai/bv/marcos_curriculares/Ciencias.PDF. 2007. Estándares de contenido y expectativas de grado del programa de ciencias. Commonwealth of Puerto Rico. http://www.prsn.uprm.edu/English/tsunami/media/teachers/Estandares_y_Expectativas_Ciencias_Dec_4.pdf
- Ram, P. 1999. Problem-based learning in undergraduate education: A sophomore chemistry laboratory. *Journal of Chemical Education* 76: 13-26.
- Snedecor, G.W. and W.G. Cochran 1989. Statistical methods. Eighth edition. Iowa State University Press, Iowa, USA.
- Solbes, J. 2009. Dificultades de aprendizaje y cambio conceptual, procedimental y axiológico (II): Nuevas perspectivas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 6: 2-22. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92012978002>
- Solid Waste Authority. 2003. Plan estratégico para el manejo de residuos sólidos en Puerto Rico. Commonwealth of Puerto Rico. <http://www.ads.pr.gov/files/2013/05/pemrs.pdf>
- Weis, I. R., J.D. Pasley, P.S. Smith, E.R. Banilower, and D.J. Heck. 2003. Looking inside the classroom: A study of K-12 mathematics and science education in the United States. Chapel Hill, NC: Horizon Research. <http://www.horizon-research.com/insidetheclassroom/reports/looking/complete.pdf>
- Yuzhi, W. 2003. Using problem based learning in teaching analytical chemistry. *The China Papers* (July): 28-33. <http://science.uniserve.edu.au/pubs/china/vol2/wangyuzhi.pdf>

APPENDIX 1. Test: Chemical and Physical Changes.

Name _____

Date _____

Select the correct answer and write it in the space provided on the left:

____ 1 If a pond used to collect surface runoff water is poured with substance X, the following may be evidence that a chemical change occurred in the pond, EXCEPT:

- a. color
- b. odor
- c. state
- d. a gas formation

____ 2. In a physical change, such as when tires are cut:

- a. the internal structure of the matter is altered
- b. the process is irreversible
- c. atoms exchange electrons
- d. changes the state or form in which molecules are exposed

____ 3. When a chemical change occurs:

- a. new substances are created
- b. it only changes the appearance of the material
- c. original substances can re-form
- d. there are no changes in energy

____ 4. José adds a tablespoon of LiCl to a glass of water while stirring it. The LiCl disappears. What type of change occurred?

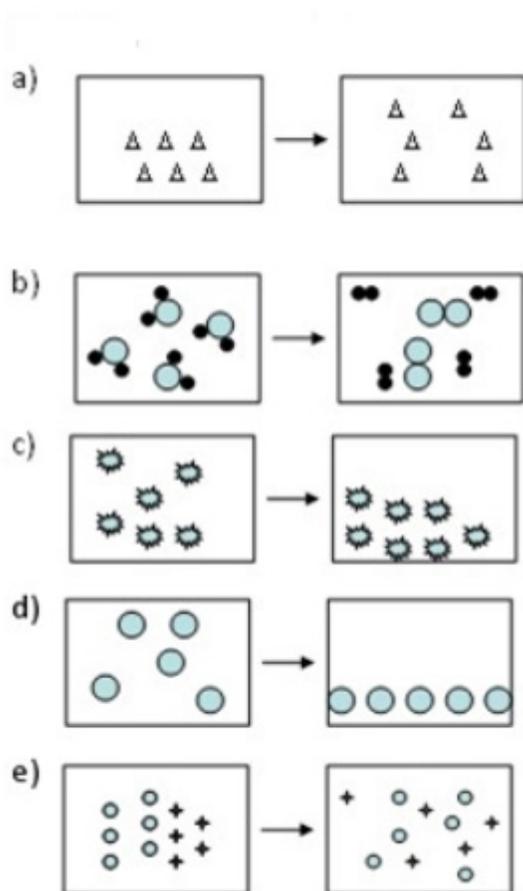
- a. chemical
- b. physical
- c. none
- d. both chemical and physical

APPENDIX 1. Test: Chemical and Physical Changes. (continued).

_____ 5. How does a physical change differ from a chemical one? In a physical one,

- a. new properties of matter are observed
- b. new substances are produced
- c. changes always include light or heat
- d. the identity of matter does not change

_____ 6. Which of the following diagrams represents a chemical change? **Justify it**



II. Classify the following changes as chemical or physical. Use the **C** for chemical and **P** for physical.

_____ 7. folding aluminum

_____ 8. heating oil

APPENDIX 1. Test: Chemical and Physical Changes. (continued).

- ___ 9. metal oxidation
- ___ 10. boil water
- ___ 11. fry an egg
- ___ 12. compost formation
- ___ 13. burn trash
- ___ 14. melt plastic
- ___ 15. reaction of metal with acid
- ___ 16. biodiesel formation
- ___ 17. grind tires

18. Each of the following statements describe the combination of two or more substances. Explain whether each of the descriptions correspond to a chemical change.

Justify your answers.

- a. Substance A is added to substance B. The freezing point of substance B decreases by 5°C.
- b. Substances X and Y are mixed. A magnet is used to remove particles from substance Y.
- c. Particles of substance A are** suspended in a river.
- d. Substance S dissolves when is added to substance R.
- e. When solid substance L is added to liquid P, an explosion occurs. The resulting substance has a lower mass than the combined mass of L and P.

Rubric to correct questions 6 and 18

6. Select alternative b as correct. (.5p)

Justification:

Reorganization, breakdown of molecules or formation of new compounds (.5p)

18. Explain whether each of the descriptions correspond to a chemical change.

Justify your answer.

- a) 1. Correctly identifies that alternative **a** is not a chemical change (.5p)
- 2. Justifies that decrease in temperature does not imply a chemical change (.5p)

APPENDIX 1. Test: Chemical and Physical Changes. (continued).

- b) 1. Correctly identifies that alternative **b** is not a chemical change (.5p)
2. Justifies that the removing of one of the substances in a mixture using a magnet, is not a chemical change since the nature or composition of the substances present in the mixture are not altered. One of the properties of the substance (magnetism) is used to separate it. (.5p)
- c) 1. Correctly identifies that alternative c is not a chemical change. (. 5p)
2. There is no evidence of chemical reaction, one substances is suspended. A suspension is a heterogeneous mixture where particles retain their identity.(.5p)
- d) 1. Correctly identifies that alternative d is not a chemical change. (.5p)
2. Dissolving does not alter the composition of matter. If substance R is evaporated, substance S is recovered without altering the chemical nature of the substances involved. (. 5p)
- e) 1. Correctly identifies alternative **e** as a chemical change.(.5p)
2. Justifies that an explosion is evidence of a chemical change, since it creates new substances with new properties. The change in mass is due to the gases released by the explosion.(.5p)

APPENDIX 2. Checklist for PowerPoint Presentation.**Criteria**

1. Uses appropriate audiovisual materials. _____
2. The presentation follows the established format. _____
3. Active participation from each member in the group. _____
4. Clearly defines the assigned concept. _____
5. Provides statistical data from reliable sources about the amount of solid waste handled with their choice of solid waste management. _____
6. Mentions the physical changes in their choice of solid waste management. _____
7. Mentions the chemical changes in their choice of solid waste management. _____
8. Describes graphically how matter is altered at a molecular level when using their choice of solid waste management (drawings and/or diagrams). _____
9. Mentions and explains the chemical reactions that occur in their choice of solid waste management. _____
10. Explains the physical changes that take place in their choice of solid waste management. _____
11. Establishes what is the relationship that exists between the Law of Conservation of Matter and Energy with solid waste management. _____
12. Explains the benefits of their choice of solid waste management above other alternatives. _____
13. Mentions the materials handled with their choice of solid waste management. _____
14. Offers concrete solutions on how to handle the problem of solid waste in P.R. _____

AGUA: FUENTE DE APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO

Carmen M. Ruiz Méndez

¹Center for Science and Math Education Research

²Puerto Rico Department of Education

RESUMEN

Se llevó a cabo una investigación en acción que propone el uso de la estrategia de Aprendizaje Basado en Proyecto (ABP) para lograr en los estudiantes de undécimo grado del curso de química, un aprendizaje significativo y un entendimiento profundo del concepto de calidad de agua. La investigación sigue un diseño cuasi experimental. En el mismo se seleccionaron dos grupos de undécimo grado, los cuales conformarían el grupo experimental con 21 estudiantes y el grupo control con 16 estudiantes. Ambos grupos estuvieron sujetos a la enseñanza de química, utilizando el libro de texto y un enfoque constructivista utilizando el inquirir guiado. La intervención al grupo experimental, se llevó a cabo trabajando la estrategia de ABP a lo largo de todo el año escolar. Resultados de un examen de contenido administrado antes y después de que los estudiantes fueran expuestos a cada estrategia de enseñanza evidencian diferencias estadísticamente significativas ($F= 5.27$ y $p=.28$, 1 gl), entre las puntuaciones de las pospruebas, a favor del grupo expuesto al ABP. Esto mostrando una posible influencia de la estrategia de enseñanza en el aprovechamiento académico. Más relevante aun, fue la experiencia de los jóvenes de ser partícipes directos en el lugar bajo estudio, lo que les ayudó a entender la magnitud real del problema ambiental y hacerlo más pertinente y significativo.

Palabras clave: calidad de agua, contaminación ambiental, aprendizaje basado en proyectos.

ABSTRACT

We developed an action research using the Project Based Learning (PBL) strategy to improve the eleventh grade chemistry students understanding of the concept of water quality. This research follows a quasi-experimental design. Two groups of eleventh grade students, were used for the study: 21 students conformed the experimental group and 16 students the control group. Both groups were taught chemistry concepts using the text book and a constructivist approach using a guided inquiry. The intervention with the experimental group consisted of using the PBL strategy throughout the school year. Analysis of a content test administered before and after the intervention evidenced that students exposed to the PBL strategy were able obtain statistically significantly ($F= 5.27$ and $p=.28$, 1 gl) higher post-test scores than those not exposed to the PBL strategy. This suggests a possible influence of the PBL teaching strategy in the students' academic achievement and understanding of the water quality concept. However the most relevant aspect of the study was the students' experience throughout the study as they were active participants and ex-

perienced firsthand the area of study. This helped them understand the magnitude of this environmental issue, and made it pertinent and significant for each one of them.

Keywords: water quality, environmental pollution, project based learning.

INTRODUCCIÓN

El estudio del ciclo del agua es un tema de gran importancia donde estudiantes suelen presentar errores conceptuales al no relacionar el mismo con conceptos de ecología y ambientales. Se han realizado diversos estudios del entendimiento que tienen los estudiantes en el campo de las ciencias y sus errores conceptuales (Cardak 2009, Bahar 2003). Según Bahar (2003) los errores conceptuales corresponden a conceptos que tienen una interpretación y significado peculiar en los estudiantes, pero estas articulaciones no son científicamente exactas. Cardak (2009) señala diferentes errores conceptuales del ciclo del agua identificados en estudiantes universitarios; entre estos se encuentran la explicación de que el ciclo del agua sólo incluye el proceso de evaporación del agua sobre la Tierra a la atmósfera y su retorno a la Tierra por condensación; y que el agua sólo se evapora desde los mares y océanos. El trabajo a continuación investiga el efecto de la estrategia de aprendizaje basado en proyecto para promover mayor aprendizaje de base científica sobre el ciclo de agua a través del estudio del concepto de calidad de agua en el curso de química a nivel secundario.

Un currículo moderno enfatiza las interrelaciones de varias disciplinas. El estudio del concepto de calidad de agua brinda una oportunidad para que los estudiantes puedan obtener un mejor aprendizaje en el área de química al poder aplicar interrelaciones entre conceptos de hidrología, química, matemática y ciencia ambientales. Las lecciones y estrategias descritas a lo largo del estudio permiten que los estudiantes

puedan relacionar, entender y aplicar con seguridad conceptos como: electronegatividad, puentes de hidrógeno, polaridad de las moléculas, propiedades del agua, concepto teórico y matemático del pH, temperatura, solubilidad, turbidez, conductividad e iones, para tratar de explicar el efecto de la contaminación en un cuerpo de agua. Los *Next Generation Science Standards* (NGSS) hacen énfasis en que la interrelación del conocimiento de varios campos de las ciencias provee al estudiante una visión científica y coherente del mundo (NGSS 2013) y este proyecto es un ejemplo de esto (Tabla 1).

El aprendizaje, visto desde el constructivismo, es un proceso autorregulatorio por el cual el individuo lidia con el conflicto: entre los modelos personales del mundo y las discrepancias que surgen al enfrentarse con nuevas ideas, construyendo y reconstruyendo representaciones y modelos de la realidad (Figarella 2012). El aprendizaje constructivista unido al uso de la tecnología en laboratorios aumenta el desarrollo investigativo, el entendimiento de los conceptos científicos y promueve un cambio radical en la percepción de los estudiantes hacia el estudio de las ciencias. Carvalho y Smoak (2009) señalan que la integración de métodos analíticos y el uso de interfaces de tecnología en computadora en laboratorios de calidad de agua permiten un cambio positivo en las actitudes de los estudiantes hacia la ciencia. Aunque con el aprendizaje constructivista y el uso de la tecnología en el salón de clases para trabajar el desarrollo de conceptos científicos se obtienen muchos logros, los errores conceptuales en los estudiantes constituyen una barrera significativa si continúan existiendo.

TABLA 1. Conexión del Proyecto con los *Next Generation Science Standards* (NGSS, 2013).

Performance Expectation				
High School Standards (HS)	(School Level, Discipline, Standard Number, Expectation)	Science and Engineering Practices	Disciplinary Core Idea	Cross Cutting Concepts
Physical Sciences (PS)				
HS-PS1: Structure and Properties of Matter	HS-PS1-3: Plan and conduct an investigation to gather evidence to compare the structure of substances at the bulk scale to infer the strength of electrical forces between particles.	Planning and carrying out investigations	PS1.A: Structure and Properties of Matter PS2.B: Types of Interactions	Structure and Function
Life Science (LS)				
HS-LS2: Matter and Energy in Organisms and Ecosystems	HS-LS2-5: Develop a model to illustrate the role of photosynthesis and cellular respiration in the cycling of carbon among the biosphere, atmosphere, hydrosphere, and geosphere.	Developing and using models	LS2.B: Cycles of Matter and Energy Transfer in Ecosystems PS3.D: Energy in Chemical Processes	Systems and System Models Energy and Matter
HS-LS2: Interdependent Relationships in Ecosystems	HS-LS2-7: Design, evaluate, and refine a solution for reducing the impacts of human activities on the environment and biodiversity.	Constructing Explanations and Designing Solutions	LS2.C: Ecosystem Dynamics, Functioning, and Resilience LS4.D: Biodiversity and Humans ETS1.B: Developing Possible Solutions	Stability and Change
Earth and Space Science (ESS)				
HS-ESS2: Earth's Systems	HS-ESS2-5: Plan and conduct an investigation of the properties of water and its effects on Earth materials and surface.	Planning and Carrying Out Investigations	ESS2.C: The roles of Water in Earth's Surface Process	Structure and Function

La problematización en el aprendizaje vendría a facilitar que este aprendizaje sea uno significativo y pertinente al estudiante logrando erradicar estos patrones de sus propias interpretaciones y que no sean contrarios a la realidad científica. El proyecto escolar diseñado por los estudiantes propone lograr, mediante la estrategia ABP, que aprendan el concepto de calidad de agua en el curso de química. A través de esta experiencia los estudiantes identificaron los continuos errores conceptuales y dirigieron su aprendizaje a la realidad científica. Esta estrategia promueve en el estudiante la construcción del conocimiento mientras analiza, investiga, crea, actúa y evalúa al trabajar con un problema (Velázquez y Figarella 2012). El utilizar el ABP provee beneficios tales como: aumento de la motivación del estudiante, mayor aprendizaje (retención y aplicación del mismo), mayor integración entre los conceptos, desarrollo de competencias relacionadas con la investigación y la solución de problemas (Norman y Schmidt 1992).

METODOLOGÍA

Este estudio se desarrolla en una escuela urbana especializada en artes visuales de nivel secundario ubicada en Puerto Rico. La población escolar se compone de estudiantes talentosos con un interés primordial en el arte visual. A través de mi experiencia profesional como maestra en esta escuela he podido constatar que la población escolar, aunque talentosa y competitiva en las artes visuales, enfrenta un reto motivacional de aprendizaje en la ciencia. Para este estudio se seleccionaron dos grupos de undécimo grado, los cuales conformarían el grupo experimental y el alterno lo es el grupo control. Para el grupo control la muestra fue de 16 estudiantes y para el experimental de 21. Los estudiantes escogidos incluyen representantes de ambos géneros.

La investigación sigue un diseño cuasi experimental para medir el dominio del

concepto de calidad de agua en el curso de química. Para establecer si hubo un incremento en el aprovechamiento académico de los estudiantes como resultado del uso de una nueva estrategia de aprendizaje, se utilizó el modelo lineal general del análisis de varianza. Se consideró como factor la estrategia de aprendizaje utilizada y como covariable, los puntajes alcanzados por los estudiantes en una preprueba con el objetivo de establecer posibles diferencias entre los grupos al inicio del estudio y su influencia en los puntajes alcanzados en una posprueba. El contenido y el tiempo instruccional del curso fue el mismo para ambos grupos.

Ambos grupos estuvieron sujetos a la enseñanza de química, utilizando el libro de texto y un enfoque constructivista utilizando el inquirir guiado. En el salón de clases se dieron demostraciones y eventos discrepantes para generar el interés durante las lecciones. Entre los eventos discrepantes los estudiantes pudieron observar cómo la maestra realizó una demostración donde transformó un vaso de agua en jugo y luego en refresco. Esta demostración generó el interés de los estudiantes de lo ocurrido. Se generaron preguntas como: ¿Qué sucedió con el agua? ¿Por qué cambió su color? ¿De dónde salió la efervescencia? La discusión de estas preguntas sirvió para introducir el concepto de pH.

Siguiendo el enfoque constructivista en ambos grupos se trabajó el laboratorio *Calidad de Agua*, con muestras de agua de tres ecosistemas (río, playa y manantial). Se asignaron grupos de estudiantes a cinco estaciones de trabajo en donde le realizaron pruebas de pH, oxígeno disuelto en agua en movimiento y sin movimiento, temperatura, conductividad y concentración de nitratos. Los datos se recolectaron utilizando sensores de pH, oxígeno disuelto, temperatura, conductividad y concentración de nitratos conectados a un CBL2 (*Calculator-*

Based Laboratories) y a una calculadora gráfica. La enseñanza del concepto de calidad de agua en el grupo control concluyó con el laboratorio. La intervención al grupo experimental se llevó a cabo trabajando la estrategia de ABP, la cual se usó a lo largo de todo el año escolar. Durante el desarrollo de la misma se realizaron avalúos para determinar la calidad de la ejecución de los estudiantes a través de las lecciones realizadas en el salón de clases. A continuación, describimos las etapas del ABP.

Actividad Motivadora

Para activar al estudiante con el conocimiento previo y hacer conexiones con el tema a investigar se presentó como situación motivadora el video *Creando conciencia* publicado en *YouTube* en el internet. El video muestra cuerpos de agua contaminados con desperdicios sólidos alrededor del mundo. El contenido del video se complementó con fotos de una quebrada cercana a la escuela que se convertiría en el área de estudio. Mediante el proceso de inquirir la maestra utilizó las siguientes preguntas guías: ¿Cómo podemos investigar los efectos de la contaminación que está ocurriendo en la quebrada?, ¿Qué podríamos hacer para ayudar a minimizar el problema de basura en la quebrada?

Clarificación del Problema y Definición del Proyecto Escolar

Con el fin de facilitar modelos de investigación en el tema de calidad de agua y para desarrollar una base científica en esta área se les solicitó a los estudiantes por subgrupos que buscaran y presentaran en clase dos artículos científicos de estudios de contaminación en cuerpos de agua. En esta presentación tenían que resumir brevemente

el problema que se investigó, el contexto en donde se presentaba la situación, la metodología utilizada y los hallazgos. Se les realizó preguntas a los presentadores para auscultar dudas referentes a los trabajos. Como próximo paso se asignó trabajar en los subgrupos la creación de un diseño experimental para desarrollar la investigación bajo estudio y que les permitiera proponer soluciones al problema que estaba presentando la quebrada.

Viajes de Campo: Aprendizaje en Acción

Una vez finalizado y corregido el diseño experimental se realizó el primer viaje de campo al área de estudio. En la preparación al viaje se discutieron los riesgos de trabajar con aguas contaminadas y medidas de seguridad tales como: vestimenta apropiada para minimizar accidentes en el campo, usar guantes y evitar el contacto con el agua. Además, se recomendó el uso de protección solar, de repelentes y se les entregó un permiso para que los padres autoricen su participación en el proyecto y para la toma de fotos y videos como parte de la experiencia educativa. El viaje cumplía varios objetivos entre ellos: realizar observaciones y descripción del área y recolectar datos de hidrología.

Para recolectar los datos de hidrología se utilizó la tecnología de la calculadora gráfica con el CBL2 y los sensores de pH, oxígeno disuelto, temperatura, conductividad y concentración de nitratos. La quebrada contenía tres construcciones en piedra (bermas) para aumentar la aeración del cuerpo de agua. Los datos fueron recolectados antes y después de cada berma. Este procedimiento se realizó tres veces en cada punto de muestreo con el fin de que los estudiantes calcularán el promedio aritmético de los datos en cada punto y realizarán gráficas para analizar la importancia de cada parámetro medido.

Se realizó un segundo viaje de campo para hacer observaciones y toma de datos de los desperdicios sólidos que había en las alcantarillas de dos calles aledañas a la quebrada. Estas alcantarillas son importantes porque el agua que baja por ellas llega a la quebrada. Organizaron y cuantificaron los desperdicios (Fig. 1). Los estudiantes calcularon promedios aritméticos de los diferentes desperdicios sólidos encontrados para llevar a cabo una

caracterización de los mismos y realizar gráficas para el análisis.

Producto del Proyecto Escolar

Los estudiantes prepararon una presentación apoyada por tecnologías visuales que abordaba el problema estudiado y los hallazgos encontrados. Utilizando sus habilidades artísticas trabajaron en la creación de un libreto, un *story board*, tomas de videos,

FIGURA 1. Recopilación de los desperdicios sólidos (Fuente: <http://www.oceanconservancy.org/our-work/international-coastal-cleanup/data-form.pdf>).

TRASH COLLECTED

Citizen scientist: Pick up all trash and record all items you find below. No matter how small the items, the data you collect are important for Trash Free Seas!

EXAMPLE: Plastic Bags: ||||| = 8 TOTAL #

Please DO NOT use words or check marks. Only **numbers** are useful data.

MOST LIKELY TO FIND ITEMS:	TOTAL #	TOTAL #	
Cigarette Butts:	=	Beverage Bottles (Plastic):	=
Food Wrappers (candy, chips, etc.):	=	Beverage Bottles (Glass):	=
Take Out/Away Containers (Plastic):	=	Beverage Cans:	=
Take Out/Away Containers (Foam):	=	Grocery Bags (Plastic):	=
Bottle Caps (Plastic)	=	Other Plastic Bags:	=
Bottle Caps (Metal)	=	Paper Bags:	=
Lids (Plastic) :	=	Cups & Plates (Paper):	=
Straws/Stirrers:	=	Cups & Plates (Plastic):	=
Forks, Knives, Spoons:	=	Cups & Plates (Foam):	=
FISHING GEAR:	TOTAL #	PACKAGING MATERIALS:	TOTAL #
Fishing Buoys, Pots & Traps:	=	6-Pack Holders	=
Fishing Net & Pieces:	=	Other Plastic/Foam Packaging:	=
Rope (1 yard/meter = 1 piece):	=	Other Plastic Bottles (oil, bleach, etc.):	=
Fishing Line (1 yard/meter = 1 piece):	=	Strapping Bands:	=
OTHER TRASH:	TOTAL #	PERSONAL HYGIENE:	TOTAL #
Appliances (refrigerators, washers, etc.):	=	Tobacco Packaging/Wrap:	=
Balloons:	=	Condoms:	=
Cigar Tips:	=	Diapers:	=
Cigarette Lighters:	=	Syringes:	=
Construction Materials:	=	Tampons/Tampon Applicators:	=
Fireworks:	=		
Tires:	=		
TINY TRASH LESS THAN 2.5CM:	TOTAL #	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 40px; height: 40px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;"> 2.5cm (actual size) </div>	
Foam Pieces	=		
Glass Pieces	=		
Plastic Pieces	=		

y en la edición y producción de un video documental. Los estudiantes organizaron un foro abierto a la comunidad escolar e invitaron a estudiantes del Capítulo Estudiantil de Química de la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras. En este evento los estudiantes dieron a conocer su proyecto escolar y presentaron el video, iniciando así una campaña educativa de prevención de contaminación por desperdicios sólidos en la quebrada bajo estudio.

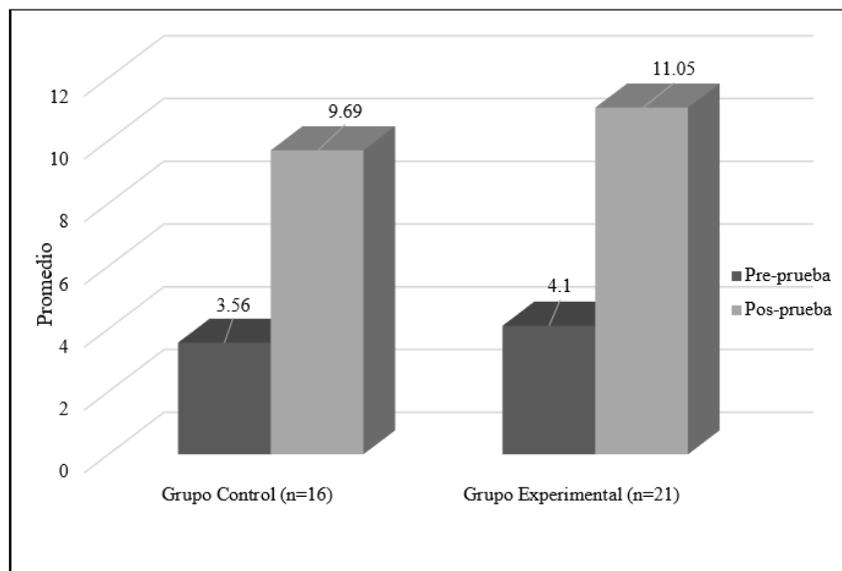
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El aprendizaje de los estudiantes se documentó por medio de una pre y pos prueba en ambos grupos, control y experimental. Para determinar que las puntuaciones de los estudiantes se distribuyeron de manera normal y homogénea se realizó la prueba de Ryan-Joiner ($RJ=.99$ y $p > .100$) y el Levene Test respectivamente ($F=3.16$ y $p=.84$), lo que nos permite aseverar la normalidad de los datos y la homogeneidad de varianzas entre las intervenciones.

Con el propósito de determinar si hubo un efecto de la preprueba en la posprueba, se realizó la prueba de análisis de covarianza. Los resultados mostraron que no hubo una relación significativa ($F=1.88$ y $p=.179$, 1 gl). Con relación a la posible influencia del método de enseñanza en el aprovechamiento académico, los resultados del análisis de varianza reflejaron que hubo diferencias significativas entre los puntajes alcanzados por los estudiantes en la posprueba ($F= 5.27$ y $p= .28$, 1 gl) (Minitab, 2014). El promedio de los puntajes alcanzados por los estudiantes del grupo control en la posprueba fue de 9.7, mientras que el promedio de los puntajes alcanzados por los estudiantes del grupo experimental en la posprueba fue de 11.1, mostrando una diferencia estadísticamente significativa (Fig. 2).

Durante el proyecto escolar se realizaron actividades de evaluación formativa como la de preguntas abiertas en donde se les ofrecía la oportunidad para que construyeran o reconstruyeran el concepto científico, y además desarrollaron una red conceptual (Aguirre 2001). Estos avalúos demostraron

FIGURA 2. Comparación de resultados pruebas pre-pos.



desde temprano una diferencia palpable entre el grupo control y el grupo experimental. Un ejemplo de esto lo fue la construcción de una red conceptual realizada al finalizar del laboratorio de Calidad de Agua. En esta se tenía que interrelacionar los parámetros físicos y químicos para medir calidad de agua y cómo estos determinan la contaminación en cuerpos de agua. El resultado del avalúo de la red conceptual reflejó un mayor nivel de especificidad y dominio del concepto de calidad de agua en el grupo experimental.

CONCLUSIÓN

A través de la intervención educativa del proyecto escolar se pudo demostrar que los estudiantes lograron un aumento en el aprovechamiento académico del concepto de calidad de agua. Esto fue observado por las diferencias significativas obtenidas en los puntajes de la posprueba entre los dos grupos, grupo control y experimental. La experiencia de estar presente en el lugar bajo estudio ayudó a los estudiantes a entender la magnitud real del problema ambiental y hacerlo más pertinente y significativo. Por medio de las diferentes lecciones dadas en el salón de clases los estudiantes pudieron aplicar los conocimientos adquiridos de electronegatividad, puentes de hidrógeno, polaridad de las moléculas, pH y propiedades del agua al concepto de calidad de agua, evidenciando un entendimiento profundo de este concepto en química en los avalúos. La nueva conciencia ambiental desarrollada por cada estudiante a través de esta experiencia se pudo apreciar en la realización del foro abierto y la creación y divulgación del video documental. Más allá de haber adquirido conocimiento, los estudiantes demuestran convicción y orgullo sobre el producto de su trabajo al ampliar sus esfuerzos de divulgación del video a las redes sociales para que otras personas que no sepan sobre este problema creen conciencia y contribuyan a lograr que este se minimice. Como aportación adicional

los estudiantes pudieron compartir los datos de hidrología obtenidos en la quebrada a una base de datos que está desarrollando la Universidad de Puerto Rico con el propósito de crear un perfil de este cuerpo de agua. Con estas acciones, se evidencia que lograron un aprendizaje significativo que redundó en acciones de impacto más allá de la escuela y los encamina a ser co-autores de nuevo conocimiento científico.

AGRADECIMIENTOS

La investigadora desea resaltar la colaboración ofrecida por el proyecto *Center for Science and Math Education Research* (Financiado por la Fundación Nacional de Ciencias – NSF #1038166) de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras, en especial a su investigadora principal, la Dra. Michelle Borrero, a su coordinadora, la Dra. Marta Fortis, a su gerente la Sra. Brenda Santiago y la evaluadora, Dra. Milagros Bravo. De igual manera a los asesores participantes en el proyecto escolar, a mis estudiantes y a toda la comunidad escolar.

REFERENCIAS

- Aguirre, M. 2001. Modelos prácticos para obtener, organizar y presentar información del proceso de enseñanza aprendizaje. Publicaciones Yuquiyú, Puerto Rico.
- Bahar, M. 2003. Misconceptions in biology education and conceptual change strategies. *Educational Sciences: Theory & Practice* 3:55-64.
- Cardak, O. 2009. Science students' misconceptions of the water cycle according to their drawings. *Journal of Applied Sciences* 9:865-873.
- Carvalho, K., y J. Smoak. 2009. Integrating basic analytical methods and computer-interface technology into an environmental science water quality lab improves student attitude. *International*

- Journal of Environmental & Science Education 4:419-428.
- Figarella, F. 2012. El enfoque constructivista y las interacciones en la sala de clase. Segunda Edición. Editorial Isla Negra, San Juan, Puerto Rico.
- Minitab. Normality test and rounding. 2014. <http://blog.minitab.com/blog/the-statistical-mentor/normality-test-and-roundin>
- NGSS. 2013. Next generation science standards: For stages, by stages.
- Norman, G. y H. Schmidt. 1992. The psychological basis of problem-based learning: A review of the evidence. *Academic Medicine* 67:557-565.
- Velázquez, L, y F. Figarella. 2012. La problematización en el aprendizaje: Tres estrategias para la creación de un currículo auténtico. Editorial Isla Negra, San Juan, Puerto Rico.

A PROBLEM BASED LEARNING INTERVENTION ON ORGANIC MATTER RECYCLING AND BIOGEOCHEMICAL CYCLES

Jadira Aponte Ramírez

¹Center for Science and Math Education Research

²Puerto Rico Department of Education

RESUMEN

Se llevó a cabo una investigación acción para estudiar la implementación de la estrategia de enseñanza de aprendizaje basado en proyectos (ABP) en una clase de ciencias ambientales ofrecida a estudiantes de cuarto año de una escuela pública de Puerto Rico. Se usaron dos técnicas de enseñanza para discutir los conceptos de reciclaje de desperdicios orgánicos y los ciclos biogeoquímicos: ABP y otras estrategias de enseñanza no basadas en el contexto o la solución de problemas. El Proyecto Escolar Vida creado durante el ABP fue diseñado para maximizar el aprendizaje estudiantil al enmarcar los conceptos científicos en el contexto de los problemas ambientales de escasas alimentaria y manejo de desperdicios sólidos. El Proyecto consistió de crear y mantener en la escuela un laboratorio ecológico llamado Agro-STEM. Resultados de un examen de contenido administrado antes y después de que los estudiantes fueron expuestos a cada estrategia de enseñanza demuestran que los estudiantes que participaron en el ABP obtuvieron mejores puntuaciones, estadísticamente significativas, en la posprueba en comparación con los de los estudiantes expuestos a otras estrategias de enseñanza. Estos resultados sugieren que la estrategia de ABP es más efectiva para aumentar el conocimiento de los estudiantes con respecto al reciclaje de materia orgánica y ciclos biogeoquímicos. En resumen, los resultados obtenidos apoyan la estrategia de ABP implementada a través del desarrollo del Proyecto Escolar Vida.

Palabras clave: reciclaje de materia orgánica, ciclos biogeoquímicos, aprendizaje basado en proyecto, proyecto escolar ambiental, ciencia a nivel superior.

ABSTRACT

A teacher action research was carried out to study the implementation of the project based learning (PBL) teaching strategy in a senior environmental sciences class of a public high school in Puerto Rico. The concepts of organic recycling and biogeochemical cycles were discussed using two different teaching strategies: PBL and other teaching strategies that are not context or problem solving based. The *Life School Project* created during the PBL was designed to maximize student learning by framing scientific concepts within the context of the environmental problems of food scarcity and solid waste management. It consisted of creating and maintaining, within the school grounds, an ecological laboratory called Agro-STEM. Results from a content test administered before and after the students were exposed to each type of teaching strategy demonstrate that the students participating

in the PBL were able to obtain statistically significantly higher post-test scores than those of students exposed to other teaching strategies. This suggests that the PBL strategy is more effective at increasing students' content knowledge of organic matter recycling and biogeochemical cycles. In summary, the results obtained support the PBL teaching strategy implemented through the *Life School Project*.

Keywords: organic matter recycling, biogeochemical cycles, project based learning, environmental school projects, high school science.

INTRODUCTION

This article describes an action research carried out to study the implementation of the project based learning (PBL) teaching strategy in a senior environmental sciences class of a public high school in Puerto Rico. The main goal of the action research was to document improvement in students' knowledge of the concepts of organic recycling and biogeochemical cycles, as a consequence of their exposure to teaching-learning processes based on PBL. The project created during the PBL implementation was titled *Life School Project*. Thus, our research question was: Does the *Life School Project* improve the academic achievement of senior students enrolled in the environmental sciences course of an urban school, specifically regarding the concepts of organic recycling and biogeochemistry cycles?

The first author taught the environmental sciences course used to carry out this action research. Her experience teaching this course was that her students' learning outcomes were, many times, limited to the successful completion of the courses' academic requirements. This external and academic motivation for learning was meaningless for many of her students who expressed indifference towards science or school in general. These types of students would either fail the course or were content with a below average grade in order to pass the course. In search of ways to enrich her students' learning processes she started integrating laboratory experiences to her courses. With this active-learning teaching strategy, students were more motivated and the amount and quality of

their participation in class increased. However, despite the laboratory experiences, some of her students continued to face difficulties mastering the content knowledge and evidencing their learning through written examination.

From 2012 till 2014 she participated in a teacher professional development program (TPDP) carried out by the Center for Science and Mathematics Education Research (CSMER) at the University of Puerto Rico, Río Piedras Campus, called I3 Maximizing Yield through Integration (MYTI) Project. One of the final products of this TPDP was the creation of an environmental school-community project. The focus and mentoring provided by MYTI motivated her to focus on her students' conceptual learning difficulties by adopting PBL as the main teaching strategy to create her (and her students') environmental school-community project and at the same time, research the outcomes of this educational intervention through teacher to action research. Her concern with her students' learning process and her participation in MYTI coincided with the Puerto Rico Department of Education (PRDE) Science Program's most recent reform efforts, which requires teachers to integrate PBL to their classroom teaching practices (PRDE 2014).

The PBL is a teaching method that engages students, for an extended period of time, in research based activities designed to empower them to respond to an authentic, appealing, and complex question, problem or challenge (Lamer et al. 2015). The prolonged, interdisciplinary, collaborative, and first hand investigation

promoted by PBL is a result of: (a) approaching real world problems to make teaching-learning processes relevant and interesting for the students, (b) clearly defining learning objectives based on the curriculum standards, (c) building effective team interactions, and (d) actively engaging students in the processes of: (a) proposing, defending, deciding and designing ways to solve the problem, (b) implementing the design, and (c) documenting, analyzing and interpreting findings (Powers and Dewartes 2004, Velázquez and Figarella 2012). Cristancho (2012) summarizes that PBL enables student to: (a) assume responsibility of their learning processes, (b) feel the need to engage with others, (c) acquire knowledge from a number of contexts, and (d) seek solutions in a collaborative, learning and reflective environment.

In line with the PBL strategy, the *Life School Project* was designed to maximize student learning by framing scientific concepts within the context of pressing environmental problems that Puerto Ricans currently face as a predominantly consumerist society, living in a relatively small island: food sustainability and solid waste management. The *Life School Project* consisted of creating and maintaining with the students, and for learning purposes, an ecological laboratory called Agro-STEM, within the school grounds.

The Agro-STEM ecological laboratory is an urban agricultural system based on the sustainable agro-ecological practices of recycling and composting organic residues. Agro-ecology positively affects both of the environmental problems considered by the *Life School Project*. The recycling and composting of organic residues reduces the amount of solid waste that end up in landfills and the agricultural purposes of initiating and maintaining these recycling processes produces crops that contribute to the reduction of food scarcity (Pacheco 2013). In addition to

the main focus of student conceptual learning, active participation in the *Life School Project's* ecological laboratory was intended to foster awareness of and contribution to: (a) urban and sustainable agriculture, (b) the reduction in food scarcity, and (c) the effective management of organic waste.

The concepts and skills developed through the implementation of the *Life School Project* respond to curricular objectives established within the educational district of Puerto Rico and the public education system of the United States as a whole. The Next Generation Science Standards (HS-ESS3-4, NGSS Lead States, 2013), state that a technological solution shall be addressed or fine-tuned to decrease the effect of human activity on natural systems, emphasizing recycling as one of the alternatives to solve environmental problems. Likewise, the content standards of the PRDE's Science Program (2014), establish the importance of the concepts of recycling and biochemical cycles. Specifically, the standards: (a) interactions and energy, (b) conservation and change, and (c) design for engineering, promote effective ways to create awareness and potential solutions to environmental problems such as air, soil, and water pollution, waste handling, resources and species protection, as well as sustainable development.

RESEARCH LITERATURE

The logical basis for strengthening classroom teaching-learning practices by actively involving students in hands and minds-on, and research focused activities is grounded on its foreseeable development of students' interest, sense of belonging and deep understanding of scientific topics (Bybee 1991). However, traditionally, science teaching has been based on the acquisition of scientific knowledge with the objective of familiarizing students with scientific theories, concepts and processes (Vilches 1999). Pozo and Gómez (2006)

explain that traditional teaching of science is characterized by: (a) presenting science for scientists, (b) transmitting knowledge verbally, (c) the teacher assumes the role of knowledge provider and students are expected to be passive consumers, (d) presenting scientific knowledge as static and absolute, (e) learning based on the exact reproduction of knowledge, and (f) curricular sequencing based on concrete and separate disciplines. According to the National Research Council (2012) science education in the United States has not reached the expectations established in the multiple science curricular reforms because: (a) it is not systematically organized through the school years, (b) it emphasizes the superficial teaching of too much fragmented content instead of in-depth conceptual understanding of sciences' big ideas, and (c) it does not provide students with the opportunities to experience "doing science".

The challenges faced by school science programs and curricular reform implementation have coincided with a revolution in our capacity to study and understand the processes of human learning (Bradsford et al. 2000). Many efforts have been placed on understanding how to integrate the results of human learning studies to educational practice. An important example is the book: *How people learn: brain, mind, experience and school* (Bransford, et al. 2000). The authors summarized their findings into three learning principles. First, the students have preconceptions about how the world works. If educational processes are not based on these preconceptions, learning of new concepts will be limited to the educational purpose of academic achievement. That is, outside the school context, students will continue using their preconceptions to explain natural phenomena. Second, competency development in any area of inquiry depends on: (a) a solid foundation of factual knowledge, (b) framing the processes of understanding ideas and knowledge in a conceptual context,

and (c) organizing knowledge in a way that facilitates its recovery and application. The third learning principle is that learning with understanding requires teaching to be based on a metacognitive approach. According to these principles, the final goal of the educational process is student empowerment through the self-definition of learning objectives and self-monitoring of learning processes (Bradsford et al. 2000).

The PBL is one of the many teaching strategies that has achieved to transfer what we currently know about how humans learn, to the complex environment of schools and classrooms. The PBL is conceptually and theoretically based on constructivism. Constructivism frames human learning within the following assumptions: (a) we learn from interacting with the environment, (b) we learn when we feel the need to learn, and (c) our learning is a result of the social negotiation of individually constructed knowledge (Savery and Duffy 1995 in Velázquez et al. 2016). In a nut shell, we interact with; the environment, our own thinking processes, and other people. These interactions can generate new experiences that contradict our understanding and ways of viewing the world. The discrepancy leads to a disequilibrium that awakens the need for us to find and create new mental structures (learning) that will reestablish our cognitive balance (Velázquez et al. 2016). The PBL is a concrete and systematic way of provoking these interactions and maximizing their learning outcomes. Educational research has evidenced that the increment in student learning outcomes observed in students exposed to problem and project based learning strategies is due to PBL's ability to trigger cognitive processes associated with learning, specifically by: (a) staging learning in a context that resembles real world situations, (b) effectively activating students' prior knowledge, and (c) incrementing the complexity in the ways students manage information. These characteristics have the

aggregated effect of stimulating mental processes which in turn, lead to greater; recall, learning and understanding (Sonmez and Lee, 2003).

The positive effect of PBL on student learning has been amply documented (Erdogan et al. 2016, Han et al. 2015, Lamer et al. 2015, Osman and Kaur 2014, Velázquez et al. 2012). Al-Balushi and Al-Aamri (2014) compared the environmental knowledge and the attitudes towards science of students participating for two months in an environmental-based project with that of students involved in more traditional learning strategies. Their results indicate that participating in environmental projects had a statistically significant positive effect on the students' knowledge and attitudes when compared to that of students who used traditional learning methods. In addition, they found differences among the students involved in the environmental projects depending on the type of final product created by the students. That is, the effect of the strategy was greater for the students who produced "enjoyable and unusual" (p. 213) final products. In a similar manner, Ferreira and Trudel (2012) studied the effect of PBL in students' attitude towards science, problem solving skills, and student's awareness of the environment in which learning was occurring (metacognition). Results showed significant increases in each of the aspects studied demonstrating PBL's potential to affect a variety of important aspects of the learning process.

Nargund-Joshi and Lee (2013) created a PBL unit about solid waste management after one of their sixth grade students saw three days of accumulated trash in the classroom trashcan and exclaimed "Wow, look at the trash! If it keeps piling up like this, it will soon be everywhere!" (p. 50). In this case, PBL allowed the teachers to take advantage of the student's natural curiosity and day-to-day situations and build upon it learning opportunities designed

to develop critical and analytical thinking (Sonmez and Lee 2003). Their PBL used the following driving question to discuss and research the science concepts of solid waste, recyclables and non-recyclables: How does the solid waste I create affect my community? The authors concluded: "This PBL unit was a great way to give students ownership to do something about the problem while learning science and math content knowledge and engaging in process skills." (p. 55).

Roy et al. (2014) conducted another study based on the implementation of PBL. They created a PBL to attend the problem of forest fires caused by human activity in Tanzania. They achieved a large scale outreach by creating "a locally contextualized video supported by a Problem Based Learning solution to connect local forest experts with school children" (p. 70). Through this PBL, children were actively involved in solving local environmental and conservation problems. Data collected through pre- and post- testing administered to students and teacher interviews, allowed them to determine that participants learned a variety of active problem solving possibilities that they could apply to the specific environmental problems under study and to other environmental and conservation problems they might face in the future.

These examples of PBL classroom implementation evidence that the educational practices of traditional science teaching and those proposed by current studies on human learning processes, including PBL, are contrary and adverse. Changes in the direction of what is now known about human learning processes imply abandoning superficial and fragmented teaching of science content, frequently disconnected from the reality of science and scientists. The need for change is unquestionable and urgent. However, there are important practical challenges associated with

the magnitude and depth that such systemic changes would imply. Undoubtedly, policy and teachers are at the center of these processes of change (Burton and Frazier 2012, Serhat and Han 2011).

To help teachers implement teaching practices based on human learning research, the PRDE's Science Program has established that problem and PBL be used as the main strategies for classroom teaching and learning processes. The educational policy states: "the educational process that will guide classroom learning experiences will use, fundamentally, the teaching strategies of project and problem based learning, with technology integration" (PRDE 2014, p. 4). Velázquez et al. 2016 p. 9) describe the teaching context of Puerto Rico in the following manner "Teaching in Puerto Rico is discretely evolving, from an emphasis on teaching for the transmission and storing of information to one centered in the construction of meaningful concepts and the development of the competencies necessary for 21st century societies."

STUDY DESIGN

A quantitative study was conducted using a non-randomized quasi-experimental design, with uncorrelated groups (Hernández et al. 2003). The sample included two groups of the environmental science course of an urban school in Puerto Rico, each one composed of a mix of 24 male and female senior students. The selection was intentional, that is, a set of attributes, possessed by the students, was defined in advance (Patton 1980). The sample had the following characteristics: (a) low general academic achievement, and (b) equal number of special education students with the same special conditions (i.e., specific learning problems and autism). The students' participation in the action research was anonymous and voluntary.

An instrument created for the National Science Foundation (NSF) Project: I³ Maximizing Yield through Integration (NSF # 1038166) was adapted to the grade level and the specific concepts focused in this action research study. The final product was a 20 multiple choice item pre- and post- test (Appendix 1). The general linear model analysis of variance was used to measure changes in the students' knowledge of organic recycling and biogeochemical cycles, as assessed by the pre- and post- test administered before and after exposing the students to the different teaching strategies. The teaching strategy (traditional or PBL) was considered a factor and the students' pre-test scores was used as a co-variable in order to determine pre-existing differences between groups (baseline equivalency), and its influence in the students' post-test scores. The Anderson-Darling Test and the Levene Test were used to fulfill the assumptions of the variance analysis (normality and homogeneity of variances).

EDUCATIONAL INTERVENTION

The concepts of organic recycling and biogeochemical cycles were discussed, using two different teaching strategies, with the students enrolled in two groups of an environmental sciences course. The students in the intervention group were exposed to the PBL strategy. Meanwhile, other teaching strategies that are not context or problem solving based were used with the comparison group students (socialized discussions, guided presentations, and student online searches for information). It was predicted that the students exposed to the PBL strategy would show greater increments in content knowledge learning. The rationale of this prediction was that PBL's purpose of seeking a problem's solution promotes interdisciplinary, self-driven, socially pertinent, and context-based learning, which in turn fosters the deep, authentic learning processes

that should be evidenced with statistically significantly higher scores in the post-tests of students exposed to the PBL strategy.

The PBL teaching strategy was implemented with the intervention students through their participation in the *Life School Project*. As previously mentioned, the Project consisted of creating and maintaining the ecological laboratory called ARGO-STEM. This activity: (a) provided the real life context of agriculture, (b) promoted the use of interdisciplinary learning, specifically the integration of science, technology, engineering and math content, and (c) placed the students at the center of the teaching-learning process.

PBL engages students in the teaching-learning process by guiding them to propose and select a problem/question that is challenging and meaningful to them. This first step is accomplished by presenting the students with a motivational situation that is meant to initiate an inquiry process, which carefully guided by the teacher, should lead to: (a) sharing of concerns, interests and questions, (b) proposal of ideas to design and operationalize ways to respond the driving questions, and (c) promote a decision making process based on logical arguments, available resources and the accomplishment of the intended learning and skills development goals (Lamer et al. 2015). In our case, the students were presented a *YouTube* video (<http://www.youtube.com/watch?v=RGHOixFQ9x0>) about the food scarcity caused by the depletion of the natural resources needed to grow food and the extreme weathers associated with climate change. The videos provoked a brainstorming process that allowed the students to identify and discuss the concepts of climate change, pollution, and solid waste production and management. Ultimately, they selected food scarcity and organic solid waste production and

management as the problems that they wanted to address.

To help students propose different and viable ways to study and contribute to the problems identified, they completed an assessment activity with the following questions: (a) What do we know about the problems identified? (b) What do I need to learn about the problems identified? (c) How will I learn it? (Appendix 2). After identifying areas of learning and ways to achieve it, students were given the opportunity to carry out these learning processes. Most of the students searched and selected the information that better met their learning needs regarding the established goals of identifying viable ways to reduce food scarcity and organic solid waste in landfills. As a result of negotiating alternatives, and taking into account the available resources, the students decided to create within the school grounds, the following four work stations: Station 1: Compost, Station 2: Vegetable garden, Station 3: Vermi compost, and Station 4: Hydroponics (Fig. 1).

Once the students decided what they were going to do, it became clear they needed to be exposed to the practical aspects of how to build and operate the work stations. A field trip to the self-managed community organization *Casa Pueblo* was coordinated and carried out. This organization has operating agricultural, composting and recycling systems similar to those that were going to be implemented in the *Life School Project*. At *Casa Pueblo* the students had the opportunity to observe the systems in operation, consult and learn from people who had already built these systems, and visualize in advance the results they could obtain from their efforts. In addition, various experts were invited to the school to serve as consultants in the process of building and maintaining the work stations. The students participated in workshops on the subjects of: hydroponics, vegetable gardening, and composting.

FIGURE 1. Work Stations of the Ecological Lab (Agro-STEM).**Station 1: Compost****Station 2: Vegetable Garden****Station 3: Vermi Compost****Station 4: Hydroponics**

The compost work station was used to facilitate the students' learning processes on the concepts of organic matter recycling and biogeochemical cycles. Guided by their teacher, the students studied the factors that influence compost production. They were divided into small groups to enhance active and cooperative learning. Each group used plant material to build three compost bins. Each subgroup was assigned one of the following variables to be controlled in each of their compost bins: water, temperature, pH, solar light, and air. For two months, the students observed their composts and measured their assigned variable to determine the effects of the different variables on macro organism presence and compost production. A centimeter ruler was used to measure compost production. The "Berlesse Funnel" experiment (Melero et al. 2009)

was used to differentiate the macro organisms present in each compost and to identify their role in compost production. Safety measures were applied during the entire process, such as using gloves, goggles, and lab coats.

The hydroponic station was fundamental for the integration of engineering content and skills to the PBL. First, the students designed their hydroponic station based on the relatively new agricultural concept of recycloponics (Pacheco 2013). In recycloponics the hydroponic system is based on recycling. Reused plastic water bottles were used to build the structure of the hydroponic system. Also the liquids extracted from the composts were used to provide the mineral rich water and nutrients needed by the plants cultivated in the hydroponic

greenhouse (Pacheco 2013). The use of organic matter as the systems' fertilizer eliminates the need to use chemical pesticides and fertilizers for hydroponic plant growth. The students decided to compare the effects of two different medium cultures in the production of lettuce plants grown in this recycloponic system (Fig. 2). In addition, the students planted cilantro, beans and peppers in their hydroponic station.

One of the essential elements of PBL is the creation of a public product as a means for students to demonstrate their learning and present their results to people outside their classroom context (Lamer et al. 2015). For this, PBL students made poster presentations focused on describing how organic recycling influences the biogeochemical cycles (carbon and nitrogen). In addition, they made presentations to the school community describing the operation of the hydroponic and compost stations. Special attention was paid to the new agro ecological methodology of recycloponics implemented in the hydroponic station due to its potential as a viable, green and cost effective solution to the environmental crises of food scarcity

and organic solid waste production and management.

RESULTS

The results of this study are based on the students' content knowledge gains, specifically of organic matter recycling and biogeochemical cycles, as assessed by the content test administered before and after they were exposed to each type of teaching strategy. In the pre-test administration, the comparison group students, in general, were able to score slightly higher than the intervention group students. This implies that the comparison group students, in general, had greater knowledge of the content assessed before being exposed to the teaching-learning process. The comparison group's pre-test mean score was 6.21 (31.1%) and the intervention group's was 5.58 (27.9%) (Table 1). The pre-test scores evidence that in general, the students had very little content knowledge of the concepts of organic matter recycling and biochemical cycles before being exposed to the different teaching strategies.

The post-test administration scores follow the expected outcome in terms of observing increments in the students' organic matter

FIGURE 2. Recycloponics station.



TABLE 1. Students' Baseline Content Knowledge (Pretest Scores).

	N	M	SD
Comparison	24	6.208	2.963
Intervention	24	5.583	2.842

Note: *N* = number of participants, *M* = Mean, *SD* = Standard Deviation, Intervention = PBL Teaching Strategy, Comparison = Other Teaching Strategies. Maximum test score = 20 points.

recycling and biogeochemical cycles content knowledge after exposure to the teaching strategies. A statistically significant increase in content knowledge was observed for both comparison and intervention groups. Comparison group students achieved higher post-test scores ($8.042 \pm .743$) as opposed to their pre-test score ($6.208 \pm .605$), a statistically significant increase of 1.833 (95% CI, 0.174 to 3.493) points, $t(23) = 2.285$, $p = .031$, $d = 0.466$. Intervention group students also achieved higher post-test scores ($13.958 \pm .738$) as opposed to their pre-test score ($5.583 \pm .580$), a statistically significant increase of 8.375 (95% CI, 6.318 to 10.432) points, $t(23) = 8.424$, $p = .000$, $d = 1.72$.

The main interest of this study was to determine the statistical significance of the differences observed between the content knowledge gains of the students exposed to the different teaching strategies. Baseline equivalency calculations show that the pre-existing advantage of the comparison group's students (0.63 or 3.2 percentage points) was enough to require analysis controls for pre-test differences, this was done by using the pre-test scores as a covariate. An ANCOVA was run to determine the effect of the teaching strategies on the students' learning of organic matter recycling and biogeochemical cycles content knowledge after controlling for pre-teaching content knowledge. There was a linear relationship between pre- and post-teaching content knowledge for each teaching strategy, as

assessed by visual inspection of a scatterplot. There was homogeneity of regression slopes as the interaction term was not statistically significant, $F(1,44) = 2.117$, $p = .153$. Standardized residuals for the comparison group scores and for the overall model were normally distributed, as assessed by Shapiro-Wilk's test ($p > .05$). There was homoscedasticity and homogeneity of variances, as assessed by visual inspection of a scatterplot and Levene's test of homogeneity of variance ($p = .706$), respectively. There were no outliers in the data, as assessed by no cases with standardized residuals greater than ± 3 standard deviations. After adjustment for pre-teaching students' content knowledge, there was a statistically significant difference in post-teaching student content knowledge between the groups, $F(1, 45) = 31.902$, $p < .000$, partial $\eta^2 = .415$ (See also Table 2).

These results suggest that the PBL strategy is more effective at increasing students' content knowledge of organic matter recycling and biogeochemical cycles, in comparison with the other teaching strategies used that are not based on real world context or problem solving. In summary, the results obtained support the PBL teaching strategy implemented through the *Life School Project*. Comparison of the intervention group students' pre- and post-test scores (Fig. 3 and 4) suggests that PBL promotes deep understanding that results in content knowledge mastery. That is, both strategies achieved content learning but differences in the quality of the learning accomplished by

TABLE 2. Adjusted and Unadjusted Teaching Strategy Means and Variability for Posttest Scores with Pretest Scores as Covariate.

	Unadjusted			Adjusted	
	N	M	SD	M	SE
Comparison	24	8.042	3.641	8.004	0.748
Intervention	24	13.958	3.617	13.996	0.748

Note: *N* = number of participants, *M* = Mean, *SD* = Standard Deviation, *SE* = Standard Error, Intervention = PBL Teaching Strategy, Comparison = Other Teaching Strategies. Maximum test score = 20 points.

FIGURE 3. Pre- and Posttest Scores of Comparison Group Students Exposed to Other Teaching Strategies.

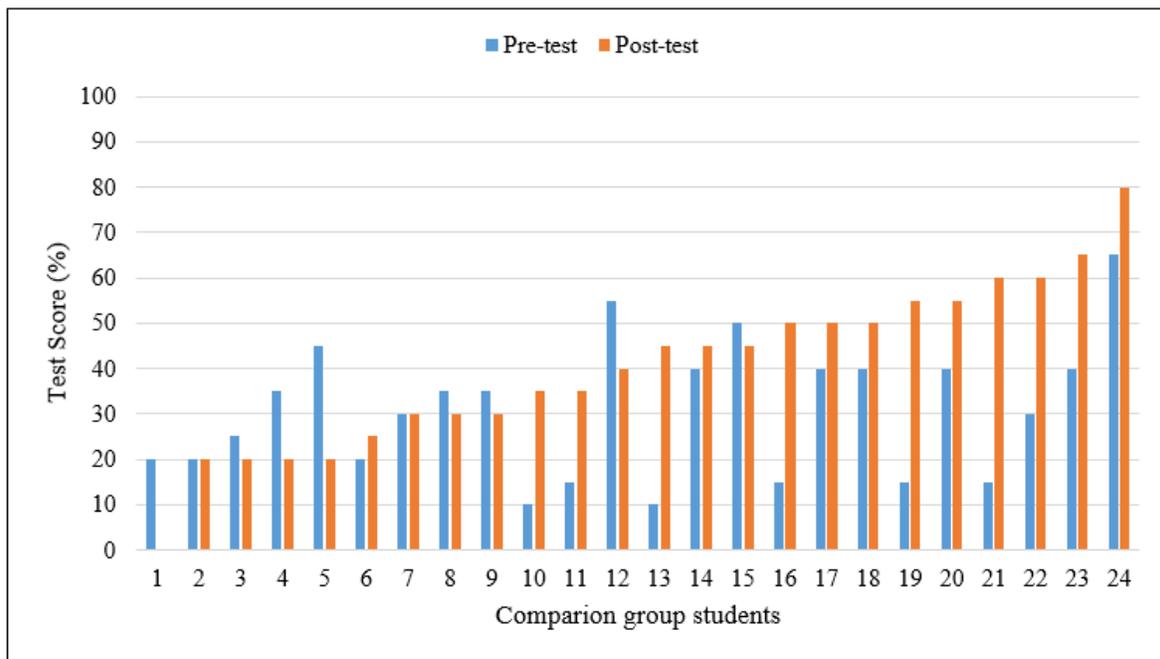
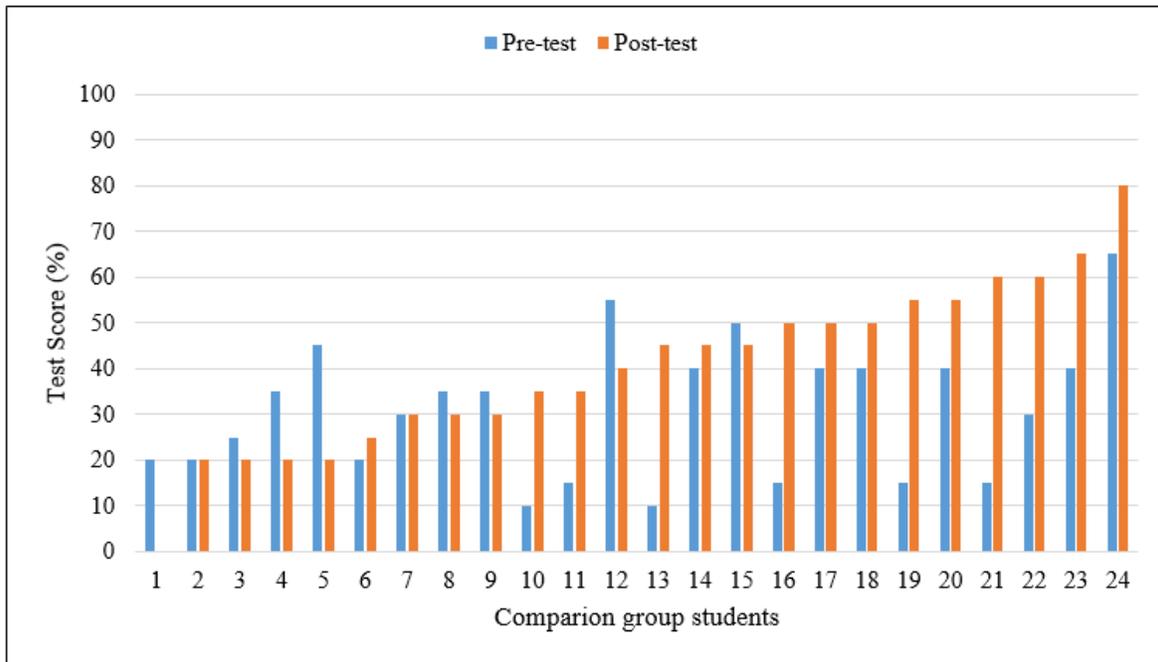


FIGURE 4. Pre- and Post-test Scores of Intervention Group Students Exposed to the PBL Teaching Strategy.



the students exposed to the different teaching strategies, are evident. A total of seven (29.2%) comparison group students' post-test score decreased when compared to their pre-test score. Lower post-test scores was observed in only one (4.2%) intervention group student. In a similar manner, two (8.3%) comparison group students' post-test score were the same as their pre-test score. Unchanged pre- and post- test scores was not observed in the intervention group students. Finally, using 70 percent as a cutoff score for content proficiency, only one (4.2%) comparison group student was able to answer 70 percent or more of the post-test items correctly, the other 23 (95.8%) students' post-test scores ranged from 0 to 65 percent. Meanwhile, a total of 14 (58.2%) of the intervention students were able to answer 70 percent or more of the post-test correctly,

the other 10 (41.7%) students' post-test scores ranged from 35 to 65 percent. In addition, eight (33.3%) of the intervention group students were able to answer from 85 to 90 percent of the post-test correctly, demonstrating mastery of the content knowledge assessed.

DISCUSSION AND CONCLUSION

The *Life School Project* fostered learning with understanding of concepts in the majority of the students. This contrasts with the comparison group in which only one of the students was able to evidence partial mastery of the content assessed by the post-test. Although encouraging, the results show that some of the intervention students had difficulties demonstrating mastery of the content knowledge assessed. One of our impressions

is that the PBL experience, for those students who were able to achieve content mastery, might have had a greater effect on their prior knowledge or preconceptions. If this was the case, the PBL allowed them to modify preconceptions, and reinforce concepts that had been previously acquired in a superficial manner. The clarification and correct understanding of basic concepts could produce the mastery results observed, since it would have provided the foundation from which solid connections with new knowledge could be built. More in-depth analysis of students' learning processes through qualitative data gathering techniques could enrich the results obtained and help understand and determine ways in which the students' conceptual learning can be further enhanced.

It is of interest of the teacher researcher involved in this action research to continue the implementation of PBL and the use of the *Life School Project* in her environmental sciences course. The real and dynamic scenario provided by the working stations of the ARGO-STEM laboratory required the students to assume an active researcher role to seek specific solutions (that they could apply) to reduce the food scarcity and solid waste generation and management problems present in their school, communities and homes. This echoes Gallagher's (in Sonmez and Lee 2003, p. 2) understanding of PBL's primary goal: "learning for capability rather than learning to acquire knowledge".

In addition to the documented student conceptual learning outcomes, this intervention had other effects that were not systematically researched but through the teacher's general observation and reflection, can be associated with this "learning for capability" described by Gallagher. As the students progressed with their work in *The Life School Project* changes in students' attitudes towards the environmental issues under study became

evident to the teacher. The students had commenced the school year lacking knowledge and interest in key environmental issues capable of determining the well being of countless species, and economically disadvantaged societies. *The Life School Project* structured learning processes around the students' engagement in concrete actions that would help them realize that the environmental issues being studied affect us all and hence demand from us all, a real and urgent contribution. The PBL strategy was effective in achieving learning outcome goals due to its focus on active, problem solving and context-based learning. These characteristics of the PBL teaching strategy made learning processes meaningful for students. This motivated students to actively participate in the learning process, they basically wanted to learn for reasons beyond the academic rewards posed by the school system. The PBL's essence of solving a problem and learning for capability led this intervention beyond its conceptual learning goals to develop in the students awareness of: (a) specific environmental problems that affect us as Puerto Ricans living in Puerto Rico, and (b) concrete things the students could do to reduce or eliminate the dangers and risks associated with these environmental problems.

One of the most noteworthy observations regarding students' attitudes was their willingness to work outside the academic schedule and recruit others to join the effort. Students' empowerment over the school project reached the point of working during recess periods and weekends. Students, parents and school staff members worked as learning communities to manage and monitor the effective operation of the stations. In future implementation of the PBL the integration of the students' families and other community members will be planned in order to maximize the efforts and productivity of each participant and the Project as a whole

(Castillo 1996). Another way the school community was integrated to the *Life School Project* was by turning the school in a collection center for compostable solid waste. The original plan was to use the solid waste generated by the school to feed the compost station. The students' concern with the amount of compostable solid waste generated in their homes and generally, destined to the landfills, initiated this effort in order to impact, not only the solid waste generated in the school, but in each of their homes. Another secondary effect of this PBL and environmental project was that the crops grown in the stations were sold to the community, therefore enabling the school to acquire additional funding. This generated within the school community, ideas and concrete actions geared towards economical sustainability. Finally, a fourth unanticipated result of this PBL implementation and environmental school project was that some students showed interest in venturing in the field of agriculture. In some cases, this meant considering it as a field of college level preparation and in orders, creating their own gardens at home for its benefits of personal enjoyment and food production.

The mission of the Puerto Rico Department of Education's (PRDE) Science Program is to contribute to the formation of individuals with the scientific culture and technological knowledge that will enable them to be productive members of the present and future global society (PRDE 2014). The productive and responsible citizenship that is expected to be developed through science education rests on the educational system's ability to create learning environments that: facilitate expert knowledge, nurtures critical thinking, and fosters the search and enactment of ways to solve the problems we face as a social collective that depends on a Planet that must be shared with present and future others (Roy et al. 2014). PBL is an effective tool to achieve this. The PRDE has established an educational

policy supporting it and multiple research efforts have demonstrated its value in terms of student learning and the formation of critical, productive and pro-active individuals our societies need. We hope our experience with the *Life School Project* may serve as an example and inspiration for other teachers willing to engage in action oriented teaching-learning strategies that may help our youth become active contributors in the environmental efforts so dearly needed by the endangered societies we currently live in.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author express her thanks to all the students, teachers, staff and community members that contributed to the development and management of the *Life School Project*. I also express my gratitude to the Center for Science and Math Education Research (Funded by the National Science Foundation – NSF # 1038166) staff who collaborated in the action research described in this paper, specially, Pascua Padró, Marta Fortis, Michelle Borrero, Brenda Santiago, Hilda Morell, Jorge Rodríguez, Claribel Ojeda, and Milagros Bravo.

REFERENCES

- Al-Balushi, S.M., and S. Al-Aamri. 2014. The Effect of Environmental Science Projects on Students' Environmental Knowledge and Science Attitudes. *International Research in Geographical and Environmental Education* 23:213-227.
- Bransford, J.D., A.L. Brown, and R.R. Cocking. 2000. *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School*. National Academy Press, Washington DC, USA.
- Burton, E.P. and W.M. Frazier. 2012. Voices from the Front Lines: Exemplary Science Teachers on Education Reform. *School Science and Mathematics* 112:179-189.

- Bybee, R.W. 1991. Planet earth in crisis: How should science educators respond? *The American Biology Teacher* 53:146-153.
- Castillo, A. 1996. La escuela como comunidad de aprendizaje [The School as a Learning Community]. *Puerto Rico y Tú* 2:12.
- Cristancho, A.V. 2012. Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) [Problem-Based Learning (PBL)] *Diario El Lider.com*. <http://www.ellider.com.co/2012/06/11/aprendizaje-basado-en-problemas-abp/>
- Erdogan, N., B. Navruz, R. Younes, and R. Capraro. 2016. Viewing How STEM Project-Based Learning Influences Students' Science Achievement through the Implementation Lens: A Latent Growth Modeling. *EURASIA Journal of Mathematics, Science & Technology Education* 12:2139-2154.
- Ferreira, M.M., and A.R. Trudel. 2012. The Impact of Problem-Based Learning (PBL) on Student Attitudes toward Science, Problem-Solving Skills, and Sense of Community in the Classroom. *Journal of Classroom Interaction* 47:23-30.
- Han, S, R. Capraro, and M.M. Capraro. 2015 How Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Project-Based Learning (PBL) Affects High, Middle, and Low Achievers Differently: The Impact of Student Factors On Achievement. *International Journal of Science and Mathematics Education* 13:1089-1113
- Hernández, R., C. Fernández, and P. Baptista. 2003. *Metodología de la Investigación* [Research Methodology]. McGraw-Hill Interamericana, Mexico.
- Lamer, J., J. Mergendoller, and S. Boss. 2015. *Setting the Standard for Project Based Learning*. ASCD, Maryland, USA.
- Melero, J., D. Bonet, and M. Comas. 2009. *Actividades Pedagógicas Relacionadas con el Compostador* [Educational Activities Related to the Composter]. <http://www.compostaenred.org/documentacion/5ActividadesPedagogicas.pdf>
- Nargund-Joshi, V., J. S. Lee. 2013. How Much Trash Do You Trash? *Science and Children* 50:50-55.
- National Research Council. 2012. *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. National Academic Press, Washington, DC, USA.
- NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For States, by states*. Washington, DC: National Academic Press. <http://www.nextgenscience.org/next-generation-science-standards>.
- Osman, K and S.J. Kaur. 2014. Evaluating Biology Achievement Scores in an ICT Integrated PBL Environment. *EURASIA Journal of Mathematics, Science & Technology Education* 10:185-194.
- Pacheco Irrizary, C.E. 2013. La agricultura y el reciclaje de orgánicos [Agriculture and Organic Recycling]. *Revista Ambiental Corriente Verde* 4:20-22.
- Patton, M. 1980. *Qualitative Evaluation and Research Method*. Second edition. Sage Publications Inc., United Kingdom.
- Pozo, J.I. and M.A. Gómez, M.A. 2006. *Aprender y enseñar ciencia* [Learn and Teach Science]. Seventh edition. Ediciones Morata, España.
- Powers, S.E., and J. Dewaters. October 20-23, 2004. *Creating Project-Bases Learning Experiences For University – K-12 Partnerships*. 34th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, Savannah, GA.
- Puerto Rico Department of Education. 2014. *Estándares de contenido y expectativas de grado del programa de ciencias* [Science Program Content Standards and Expectations]. Commonwealth of Puerto Rico. <http://www.prsn.uprm.edu/English/tsunami/media/>

- teachers/Estandares_y_Expectativas_Ciencias_Dec_4.pdf
- Puerto Rico Department of Education. 2014. Public Policy on the Organization and Curricular Offerings of the Science Program for Elementary, Intermediate and High Schools of Puerto Rico. (Circular Letter No. 27, 2013-14). Internal documents published
- Roy, A., P. Kihzoa, J. Suhonen, M. Vesisenaho, M. Tukiainen. 2014. Promoting Proper Education for Sustainability: An Exploratory Study of ICT Enhanced Problem Based Learning in a Developing Country. *International Journal of Education and Development using Information and Communication Technology*, 10:70-90.
- Serhat, I. and C. Han. 2011. Education Reforms as Paradigm Shifts: Utilizing Kuhnian Lenses for a Better Understanding of the Meaning of, and Resistance to, Educational Change. *International Journal of Environmental & Science Education* 6:251-266.
- Velázquez, L. and F. Figarella. 2012. La problematización en el aprendizaje: tres estrategias para la creación de un currículo auténtico [Problematization in Learning: Three Strategies for Creating an Authentic Curriculum]. Isla Negra Publishers, Puerto Rico.
- Velázquez, L., F. Figarella, L. Clark. 2016. La aventura del currículo auténtico [The Adventure of the Authentic Curriculum]. CoopERA, United States.
- Vilches, A. 1999. El contexto Ciencia-Tecnología-Sociedad [The Science-Technology-Society Context]. *Cuadernos de Pedagogía* 28:64-67.

APPENDIX 1. Pre-test and post-test.

___ PRE-TEST

___ POST-TEST

GROUP: ___ PSEUDONYMS: _____ VALUE: **20 POINTS**

INSTRUCTIONS: READ THE ITEM CAREFULLY AND CIRCLE THE ALTERNATIVE THAT CORRESPONDS TO THE BEST POSSIBLE ANSWER.

1. THE PROCESS THAT IS MOST RELATED TO WHAT OCCURS DURING COMPOST FORMATION IS:
 - a. decomposition
 - b. sedimentation
 - c. photosynthesis
 - d. evaporation
2. Mark with an "X" all the materials that can be used to prepare compost (this item will only be scored if all the correct materials are marked).

<input type="checkbox"/> plastic	<input type="checkbox"/> citric
<input type="checkbox"/> eggshell	<input type="checkbox"/> fruit peels
<input type="checkbox"/> grass	<input type="checkbox"/> cooked rice
<input type="checkbox"/> glass	<input type="checkbox"/> oil
<input type="checkbox"/> sawdust	<input type="checkbox"/> kitchen vegetable residues
<input type="checkbox"/> animal excrement (cow, horse, birds)	<input type="checkbox"/> food leftovers (bones, meats, eggs...)
<input type="checkbox"/> newspaper	<input type="checkbox"/> cans
<input type="checkbox"/> aluminum	<input type="checkbox"/> branches
3. Vermi-compost refers to compost:
 - a. produced with parasites and other microorganisms which digest organic matter.
 - b. produced with ants and citric wastes where ants deposit their eggs.
 - c. produced with earth worms which digest and fertilize organic matter.
 - d. which, after its formation, is supplied with round worms to help break and form the ideal soil for harvesting.
4. Circle the alternative that includes factors that intervene in the process of compost formation.
 - a. Rain, pressure, heat, microorganisms, humidity.
 - b. Humidity, temperature, oxygen, pH, nitrogen/carbon contents
 - c. Heat, water, micro and macroorganisms.
 - d. Temperature, surface area, pressure.
5. The following compost factors are considered abiotic (lifeless), **EXCEPT FOR**:
 - a. humidity added to the compost to ensure the survival of oxygen dependent organisms (aerobials).
 - b. air supplied to ensure survival of aerobic organisms
 - c. relationship of the earthworm with its predator.
 - d. superficial area that compost components must have to ensure a faster decomposition.

APPENDIX 1. Pre-test and post-test (continued).

6. In the composting process, microorganisms and some macro organisms break organic matter and produce:
 - a. water, carbon dioxide and heat
 - b. oxygen and carbon dioxide
 - c. oxygen, inorganic mater and high temperatures
 - d. water, oxygen and nitrogen
7. Select the alternative that includes first level consuming organisms of the food chain.
 - a. Worms, bacteria and fungi
 - b. Scorpions and centipede
 - c. Parasites and bacteria
 - d. Mite and flat worms
8. Which of the following organisms gains more energy in the food chain?
 - a. The cricket because it receives energy directly from who produces it.
 - b. The red-tailed hawk because it is bigger and has to eat more.
 - c. The nematodes because they eat from several sources.
 - d. The gray-kingbird because it requires more due its small size and needs to attack the red-tailed hawk.
9. What is water's main function?
 - a. Decompose
 - b. Perform Photosynthesis
 - c. Temperature regulator
 - d. All of above
10. Why is it important to keep compost ventilated during its formation?
 - a. to get rid of anaerobic microorganisms.
 - b. to prevent the disappearance of all microorganisms due the heat and lack of oxygen.
 - c. to form a slow compost with more nutrient contents to help prepare the soil.
 - d. to form a looser compost and increase anaerobic microorganisms.
11. Which of the following situation describes *The Law of Conservation of Matter* better?
 - a. Released heat during the thermophile stage of the composting process
 - b. Loss of water and carbon dioxide release, produced during organic matter decomposition.
 - c. Odors emanating from organic matter decomposition and the microorganisms living within.
 - d. The organic molecules binding energy transformation of solid waste in heat energy from the compost pile.

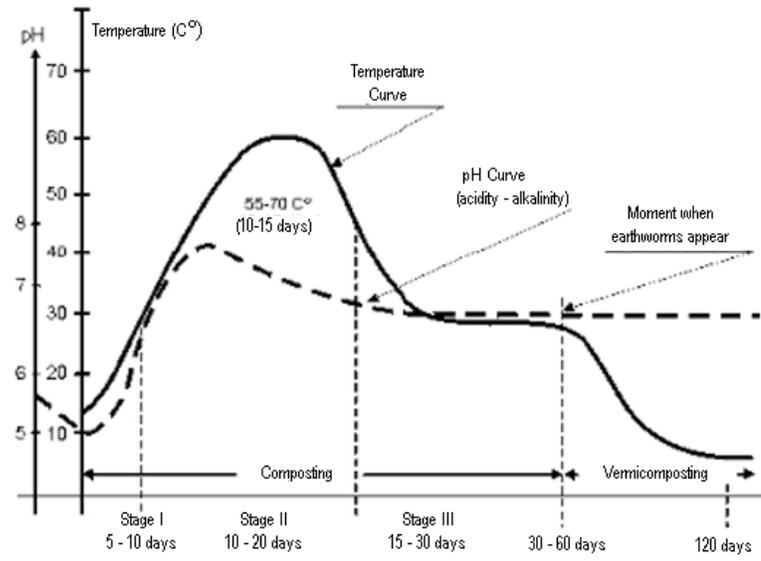
APPENDIX 1. Pre-test and post-test (continued).

12. The green organic residues provide a higher content of _____ to the compost; on the other hand, the brown colored residues provide more _____.
- carbon, nitrogen
 - nitrogen; carbon
 - phosphorus; potassium
 - potassium; phosphorus
 - nitrogen; phosphorus
13. _____ is the element that helps in fruit ripening.
- Iron
 - Phosphorus
 - Nitrogen
 - Magnesium
14. _____ is the nutrient that increases resistance to illnesses.
- Nitrogen
 - Zinc
 - Magnesium
 - Potassium
15. _____ is the nutrient that induces the formation of cell walls.
- Nitrogen
 - Sulfur
 - Calcium
 - Potassium
16. _____ is the element that enables growth.
- Nitrogen
 - Carbon
 - Copper
 - Boron
17. Select three essential nutrients referred to in the number 20-20-20 of the well know fertilizer.
- nitrogen-carbon-iron
 - nitrogen-phosphorus-potassium
 - calcium-phosphorus-potassium
 - nitrogen-potassium-carbon

APPENDIX 1. Pre-test and post-test (continued).

18. Analyze the following figure and use it to answer questions 19 and 20.

Composting Stages



19. When analyzing the figure we find that the maximum temperature of the compost is approximately equal to:

- 40 °C
- 48 °C
- 55 °C
- 60 °C

20. Keep in mind that a solution with a pH lower than 7 is acidic, and one with a pH greater than 7 is alkaline (pH = 7 indicates neutrality of the solution). When analyzing the graph we observe that compost formation changes from alkaline to acidic in Stage:

- I
- II
- III
- IV

21. Select with an X the benefits of the compost.

- Reduces bad smells that can be produced by organic waste
- Controls weeds
- Saves energy and water
- Enables the process of erosion

APPENDIX 2. KWL Worksheet.

Name: _____ Date: _____

Grade: _____ Group: _____ Teacher: _____

Procedure:

1. Discuss within your group what you, as a group, already know about Organic Matter Recycling and Biogeochemical Cycles.
2. Make a list of what the group knows in the K column of the chart.
3. Use the column W to write disagreements among group members and questions you want to answer.
4. The L column will be filled after all the activities and lectures are carried out.

What We K now	What we W ant to Find Out	What We L earned

Student's reflection _____

STUDENTS' LEARNING ON SOLID WASTE DISPOSAL AS AN ALTERNATIVE SOURCE OF ENERGY

Sandra Beltrán Morales

¹Center for Science and Math Education Research

²Puerto Rico Department of Education

ABSTRACT

An action research was conducted to determine whether the students' academic achievement on the topics of solid waste disposal alternatives and alternate sources of energy produced by organic waste would increase after their participation in a Project Based Learning (PBL) strategy. A sample consisting of a homeroom group of 36 tenth grade students, from a biology class, was selected out of a rural school in Puerto Rico. Through the School Project known as: *Educate, Act and Live*, a test was administered before and after the implementation of the PBL. Results of the $t_{student}$ test showed that there was a statistically significant increase between the results of the pre- and post- test ($T = 27.9$, $p = .000$). These findings proved that the PBL strategy resulted to be effective in increasing the students' academic achievement in the topics studied.

Keywords: recycling, reutilizing, reduction, energy recovery, landfill, energy, biodiesel, biofuel, biogas, alternative energy sources, solid waste handling, project based learning.

RESUMEN

Se realizó una investigación acción para determinar el aumento en aprendizaje de los estudiantes acerca del manejo de los desperdicios sólidos y la producción de fuentes de energía alterna utilizando desperdicios orgánicos, luego de participar en un proyecto escolar el cual se basó en la estrategia educativa aprendizaje basado en proyecto (ABP). La muestra intencionalmente seleccionada incluyó 36 estudiantes del décimo grado, del curso de biología, de una escuela rural en Puerto Rico. A través del proyecto escolar titulado *Edúcate, Actúa y Vive*, se administró una prueba antes y después de la implantación del ABP. Los resultados de la prueba $t_{student}$ demostraron que hubo un aumento estadísticamente significativo entre los resultados de la pre y pos prueba ($T = 27.9$, $p = .000$). Estos resultados evidenciaron que la estrategia ABP fue efectiva para aumentar el aprovechamiento académico de los estudiantes en los temas estudiados.

Palabras clave: reciclaje, reutilizar, reducción, recuperación de energía, vertedero, energía, biodisel, biocombustible, biogas, fuentes de energía alternas, manejo de desperdicios sólidos, aprendizaje basado en proyectos.

INTRODUCTION

In a changing, globalized society; where social and labor obligations call for self-sufficient personnel with critical thinking and the ability to handle problems, it is necessary for educational programs to train individuals with these requirements. For the XXI century, the Science Program of the Puerto Rico's Department of Education has a paradigm shift in its mission where the individual is encouraged to build knowledge, develop critical thinking, and solve problems through research (Department of Education of Puerto Rico 2012).

According to data from the Puerto Rico Statistics Institute (Disdier Flores 2012), 56 percent of high school students were below the proficiency level required in science. We, as educators, have to switch educational practices and strategies aiming to provide a more realistic learning. Is not only with the purpose of improving academic achievement, but also with the objective of creating skills and abilities for the analysis of different scenarios. This increases adequate decision making capabilities and creates awareness about the consequences of our decisions.

To address this situation, an action research was conducted with thirty six 10th grade students from a biology class during the development of the *Educate, Act, and Live School Project* using the Project Based Learning (PBL) strategy. According to Feldman and Capobianco (2000), the action research is a type of systematic research carried out by educators to improve teaching practices, and it is primarily focused on the student. Furthermore, PBL is a pedagogical strategy in which students learn by solving a problem (Hmelo-Silver 2004).

Moreover, the research addressed an environmental problem affecting world population; that is: the production, disposal,

and management of solid waste. Specifically in Puerto Rico, the Solid Waste Authority (2008) reported a solid waste production rate increase of 2.52 kg per person per day in 2008. They also pointed out that in the year 2014, only 28 landfill facilities will be operating due to an order issued by the Environmental Protection Agency (EPA) to close three facilities. An interactive map of Puerto Rico (Appendix 1) will demonstrate the operating landfill systems with administrative orders from the EPA.

The *Educate, Act and Live School Project* addressed the solid waste production problem in Puerto Rico with the purpose of educating students and creating awareness about the following subjects: reutilization, reduction, recycling, energetic recovery, landfill, and alternate sources of energy, as well as organic matter, bioenergy, biogas, biofuel, biodiesel, and energy. The students were able to define, clarify, and differentiate these concepts during the course of this project. The objective was to improve the biology students' learning about the topics of solid waste disposal and energetic recovery alternatives for organic matter. These topics are defined in the Content Standards and Grade Expectations of the Science Program (Department of Education of Puerto Rico 2007), specifically in the E.B.4.1 (Energy) and I.A. 3.6 (Environmental Science Course Interactions) standards. Similarly, these topics are defined on the *Next Generation Science Standards* (NGSS Lead States 2013), as it is shown in Table 1.

Globalization has prompted countries, such as the United States of America (U.S.), to reconsider the methods by which science is taught at K-12 levels. A study about the U.S. economy in comparison with other countries demonstrated that it is in disadvantage, implying a reduction of economic competitiveness in U.S. students' achievements, that is, a reduction of individuals skilled on science and mathematics, and a poor scientific and technical

TABLE 1. *Next Generation Science Standards (NGSS Lead States 2013).*

High School Standard (HS) (School Level, Discipline, Standard Number, Expectation)	Science and Engineering Practices	Disciplinary Core Ideas	Crosscutting Concepts
HS-PS3-2.	Developing and Using Models Constructing Explanations and Designing Solutions	PS3.A: Definitions of Energy That there is a single quantity called energy is due to the fact that a system's total energy is conserved, even as, within the system, energy is continually transferred from one object to another and between its various possible forms.	Energy and Matter Energy cannot be created or destroyed— only moves between one place and another place, between objects and/or fields, or between systems.
HS-ESS3-2.	Engaging in Argument from Evidence	ESS3.A: Natural Resources All forms of energy production and other resource extraction have associated economic, social, environmental, and geopolitical costs and risks as well as benefits. New technologies and social regulations can change the balance of these factors.	Influence of Engineering, Technology, and Science on Society and the Natural World. Engineers continuously modify these systems to increase benefits while decreasing costs and risks.

literacy on society (NGGS, Lead States, n.d.). For this reason, the U.S. government started the implementation of new NGSS standards aiming to achieve quality proficiency on high school graduates in response to the demands and requirements of college programs while teaching and developing critical thinking, scientific abilities, and problem solving skills in the individuals facing a competitive work field.

Sillman (2003) carried out an investigation with students, related to the topic of the four R's of the environment and demonstrated that the students had a hard time differentiating terms such as reduction, reutilization, and recycling. They also couldn't establish any relation between waste and energy production. Likewise, a study conducted in Turkey with 127 students, from different public and private high schools, found out that 70 percent of the students were unable to answer how biogas energy is obtained, or did not understand how the process worked. The students who did answer, couldn't establish any relation with solid waste (Tortop 2012).

The *Educate, Act and Live School Project* presented the topic of solid waste through the PBL strategy. Our research question was: Will the students' academic achievement in the topic of alternatives for solid waste management and energetic recovery from solid organic waste increase after their participation in the *Educate, Act and Live School Project* using the PBL strategy? The PBL strategy encourages a constructivist learning in which students work in collaborative groups and the teacher assumes the role of a facilitator. For Metz (2006), when students work in pairs to solve a problem, they can critically evaluate the possible decisions. That is, if the student is empowered to handle the learning process, this results in an increase in academic achievement. Likewise, in a study conducted with high school students from the Mid-West in the U.S., where the PBL strategy

was implemented in the science course, the students' attitude toward science improved, and their perception of their learning environment changed (Ferreira and Trudel 2012).

METHOD

This study had a pre experimental design. Creswell (2005) points out that a pre experimental design is one in which there is no group to compare. Therefore, this research used only one group, which was subject to a test before and after receiving the PBL experimental intervention (i.e., *Educate, Act and Live School Project*).

The sample selection was chosen by convenience and, according to Patton (1980), this selection implies in advance a set of attributes that participants must have. The sample consisted of students from the researcher's homeroom group. The attributes to select the sample were academic achievement and attitude towards the research. The sample consisted of 36 tenth grade male and female students from the biology class of a rural school from Puerto Rico. The students' ages averaged from 15 to 16 years old, with a grade point average from 3.00 to 4.00. From the 36 students, 3 belonged to the Special Education Program, with specific learning problems. Participation of the students was voluntary and anonymous. For this purpose, their parent's approval and consent was required for taking and releasing photos from the study.

A test used as a pre- and post- test was designed to gather data (Appendix 2). The test was written and administered individually to the students in the classroom. The test consisted in a real situation concerning landfill disposal. It had 12 items; each of the items showed two short answer questions and one open question requiring justification. A rubric for assigning scores (from 0 to 3) was used to correct the student's answers to the

arguments (see Resource sections Appendix 3). The test's objectives were: (1) identify the different ways to handle each solid waste presented; (2) explain how such solid waste could be handled to prevent it from ending up in a landfill; (3) identify solid waste that could be used for energetic recovery purposes; and (4) explain how organic solid wastes could be handled and transformed into alternative energy sources.

The research was carried out during the 2013-2014 academic year between February and May 2014. For the development of the school project, the PBL teaching strategy was used. This strategy was divided into 3 phases: motivational, conceptual, and application.

Motivational Phase

In the first phase, a motivational situation was presented to the students through a video that explained the solid waste production and disposal in Puerto Rico. Then, at the end of the video, a hypothetical situation was presented: "The EPA closed down all the country's landfills, prompting the immediate search of mechanisms to reduce the production of solid waste". After the video, the researcher initiated and conducted a socialized discussion among the students, using some guiding questions. A sample of journal entry sheet (Teacher's Journal for Socialized Discussion of a Motivational Situation) was used by the researcher for this activity (Appendix 4).

For the students to recognize their contribution to the problem, they were assigned homework, consisting of collecting the trash they produced over 6 consecutive days; classifying solid waste in a work sheet, and documenting it with a photo. (Appendix 5). Afterwards, the researcher recreated a scenario in the classroom, consisting of placing objects that represented different kinds of solid waste that end up in a landfill. Then, they were

asked to determine how to dispose the waste without sending it to a landfill (Fig. 1). The purpose of these two exploratory activities was for the students to identify and explain, according to their previous knowledge, the different alternatives for disposing solid waste. (Appendix 6)

Conceptual Phase

Students were divided into 6 groups of 6 members. Each group selected a disposal activity (i.e., reutilization, reduction, recycling, energetic recovery or landfill) to conduct a research and prepare a PowerPoint slide show to present their findings to all the students. A checklist with the evaluation criteria for the oral presentation was used (Appendix 7). Upon conclusion of the presentations, the researcher conducted a socialized discussion amongst the students to answer the following question: Which solid waste disposal and handling alternative brings the most benefits to Puerto Rico, and how? The most beneficial alternative selected for the country by the students was energetic recovery. Lastly, each group selected one of the energetic recovery alternatives (i.e., biogas, biodiesel, compost or biofuel) to build an energetic recovery model starting from organic matter.

Application Phase

Students started the process of building a model. The students showed the final model through a video. In that video they defined and explained the type of energy recovery alternative that was built, the materials used for the model, how to build it and how it works. However, some chemicals required to build the biodiesel model were not available. Therefore, the student group in this topic opted to prepare a model that showed the production process in a biodiesel processing plant, instead of building an actual

FIGURE 1. Solid Waste Scene Recreation Activity.

model. All the student groups did their video-presentation in front of the entire classroom and a rubric was used for evaluation (Appendix 8)

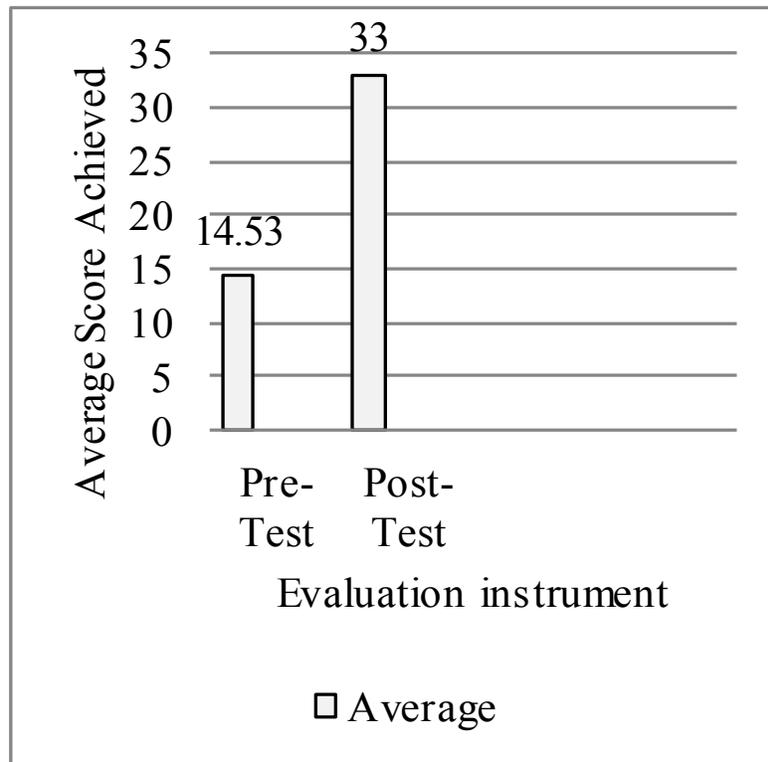
Descriptive statistics were applied using the Minitab 17 program, to determine if there was an increase in the students' academic achievement in the biology course; specifically in the topic of solid waste disposal alternatives and energetic recovery from organic matter alternatives. The data were analyzed by calculating the $t_{student}$ test for independent samples. To meet the requirements of the $t_{student}$ test analysis, the data were transformed using the *arcosine* \sqrt{x} transformation and the normalization thereof was verified using the Ryan-Joiner test (Minitab 2014, Snedecor and Cochran 1989).

RESULTS AND DISCUSSION

The administered evaluation instrument allowed the students to identify disposal alternatives used for each of the solid wastes that were provided. We can establish from Figure 2 that when calculating the average of total scores obtained by the students, both in the pre- and post- test, there's an increase in correct answers, hence indicating that students improved their conceptions about differentiating the alternatives of solid waste disposal.

The tests had seven questions for the students that required them to mention and explain the energetic recovery alternatives using organic waste. The pre-test

FIGURE 2. Total score average in the pre and post-tests.

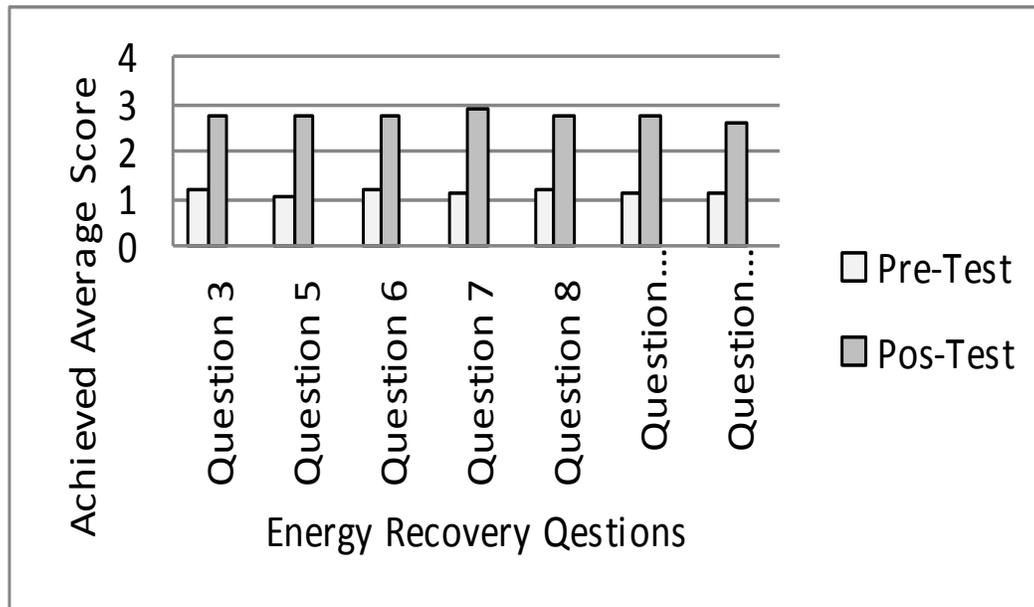


showed that only one student in the study was able to mention this disposal alternative. As seen in Figure 3, there was an increase in correct answers on the 7 questions, thus indicating that students not only were able to mention and differentiate the energetic recovery disposal alternative, but they went on to provide real examples and explain them.

Results of the Ryan-Joiner test ($RJ = 0.985$ $p > .10$) allowed to assert the normality of the data. The $t_{student}$ test results showed that a statistically significant increase occurred between the pre- and the post-tests results ($T = 27.9$, $p = .000$). When comparing the values, we can determine that there was an increase in the students' academic achievement on the studied topics.

CONCLUSION

The action research conducted sought to determine whether the students' academic achievement in the topic of solid waste was improved after their participation in the PBL educational strategy, *Educate, Act and Live*. Initially, when this topic was discussed with the students, they demonstrated unawareness about the solid waste production problem. After the educational intervention and according to the analyzed data obtained from the pre- and post- test results on the topics addressed, a statistically significant increase was obtained in the students' academic achievement. Furthermore, the use of the PBL strategy encouraged the active participation from the students, prompting them to take charge of the learning process, and increase their academic achievement. As

FIGURE 3. Average score achieved in questions related to energetic recovery.

a result of having discussed a real life problem, there was a transformation in the students' point of view towards nature and made them more environmentally conscious. The above is in harmony with a study conducted by Ferreira and Trudel (2012) in which students stated that the PBL educational strategy provoked greater interest, since it enabled them to have greater participation by being more active in the learning process. Consequently, they were able to retain better the information and it helped them go further into the topic to obtain the best solution.

The PBL strategy requires good planning by the teacher to have a successful implementation. It requires an innovative project and a good question to start a research that promotes students to search for information and data. It is necessary to create a schedule that will allow students, according to their and schools limitations, develop their subject properly. It is also important for the teacher

to plan how to monitor the students work and progress.

The benefits obtained by the students will enable them to develop problem solving and critical thinking skills to face situations that may come across in their daily lives. This experiences promote that student be more active and autodidact in the learning process and develop skills to work in collaborative groups, a necessary skill for the working world.

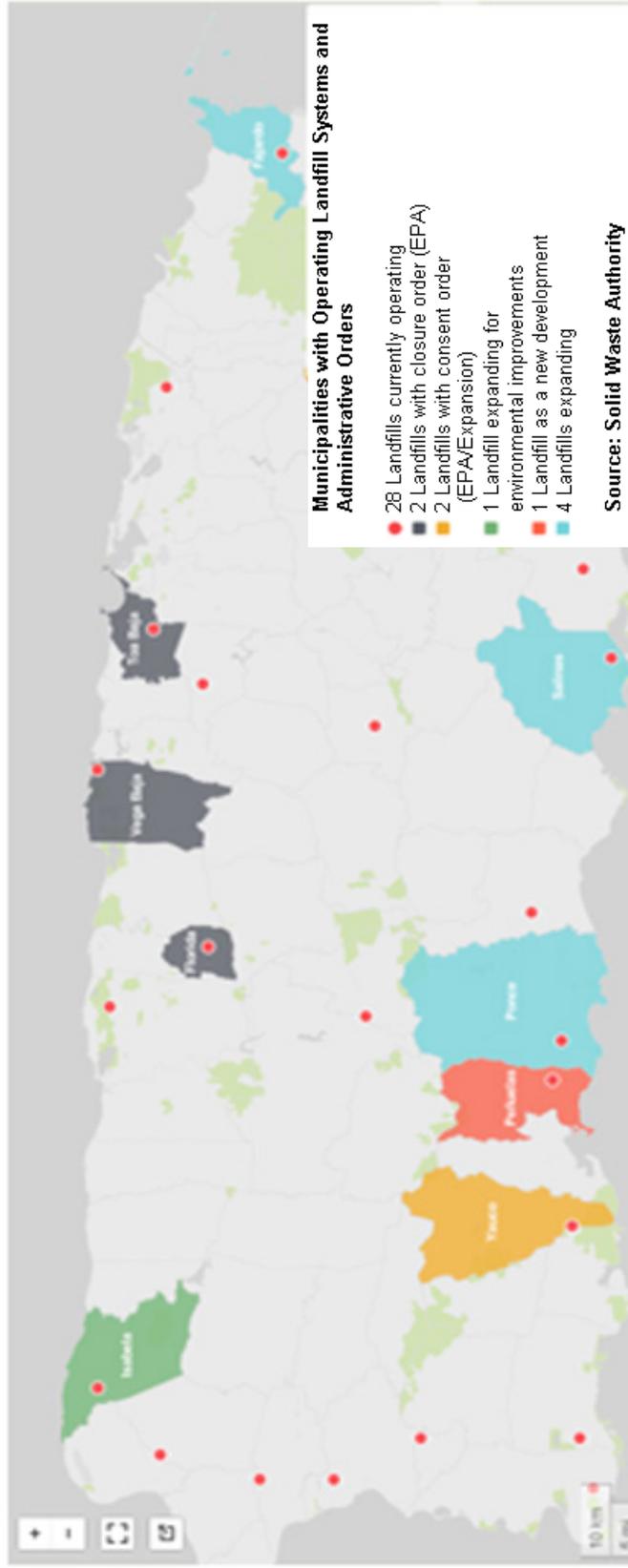
ACKNOWLEDGEMENTS

I thank my students, school staff, community members, and the collaboration received by the Center for Science and Math Education Research (Funded by the National Science Foundation – NSF # 1038166). I also thank the co-principal investigator Dr. Michelle Borrero, their professional development coordinator, Dr. Marta Fortis, their evaluator Dr. Milagros Bravo, and the evaluator's assistant Pascua Padró.

LITERATURE CITED

- Creswell, J.W. 2005. *Education research: Planning, conducting and evaluating quantitative and qualitative research*. Merrill-Prentice Hall, New Jersey.
- Disdier, O.M. 2012. *Statistical Yearbook of the Education System: School Year 2011-2012*. Statistics Institute of Puerto Rico. Puerto Rico Commonwealth. <http://www.estadisticas.gobierno.pr/iepr/LinkClick.aspx?fileticket=m8j9w8ftbhE%3D&tabid=165>
- Feldman, A., and B. Capobianco. 2000. *Action research in science education*. Office of Educational Research and Improvement, Washington, DC. ERIC Digest. Clearinghouse for Science, Mathematics, and Environmental Education.
- Ferreira, M.M., and A.A.Trudel. 2012. The impact of problem based learning (PBL) on student attitudes toward science, problem solving skills, and sense of community in the classroom. *Journal of Classroom Interaction* 47: 23-30.
- Hmelo-Silver, C.E. 2004. Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review* 16: 235-266. http://kanagawa.lti.cs.cmu.edu/olcts09/sites/default/files/Hmelo-Silver_2004.pdf
- Metz, S. 2006. Editor's corner: Problem-based learning. *The Science Teacher*. NSTA Learning Center.
- Minitab. 2014. Normality tests and rounding. <http://blog.minitab.com/blog/the-statistical-mentor/normality-tests-and-rounding>
- NGSS Lead States. 2013. *Next Generation Science Standards for States by, States*. National Academies Press, Washington, DC. NGSS. n.d. The need for standards. <https://www.nextgenscience.org/need-standards>
- Patton, M. 1980. *Qualitative evaluation and research methods*. Sage Publications, United Kingdom.
- Puerto Rico Department of Education. 2012. Circular letter number 12-2011-2012. Science Program. Commonwealth of Puerto Rico.
- Puerto Rico Department of Education. 2007. *Estándares de contenido y expectativas de grado del programa de ciencias [Content and grade expectation standards of the science program]*. Commonwealth of Puerto Rico. <http://www.prsn.uprm>
- Sillman, K. n. d. Recycling. <http://www.personal.psu.edu/kas132/recycling.htm>
- Snedecor, G.W., and W.G. Cochran. 1989. *Statistical methods*. Eighth edition. Iowa State University Press, Iowa, USA.
- Solid Waste Authority. 2008. *Itinerario dinámico para proyectos de infraestructura [Dynamic itinerary for infrastructure projects]*. Commonwealth of Puerto Rico. <http://www2.pr.gov/agencias/jca/Documents/Documentos%20Ambientales/2008/Final/Itinerario%20Din%C3%A1mico%20de%20Proyectos%20de%20Infraestructura%20San%20Juan%20y%20Otros%20Municipios%20JCA-08-0012/ApendiceIII.pdf>
- Tortop, H. 2012. Awareness and misconceptions of high school about renewable energy resources and applications: Turkey case. *Energy Education Science and Technology Part B: Social and Educational Studies* 4: 1829-1840.

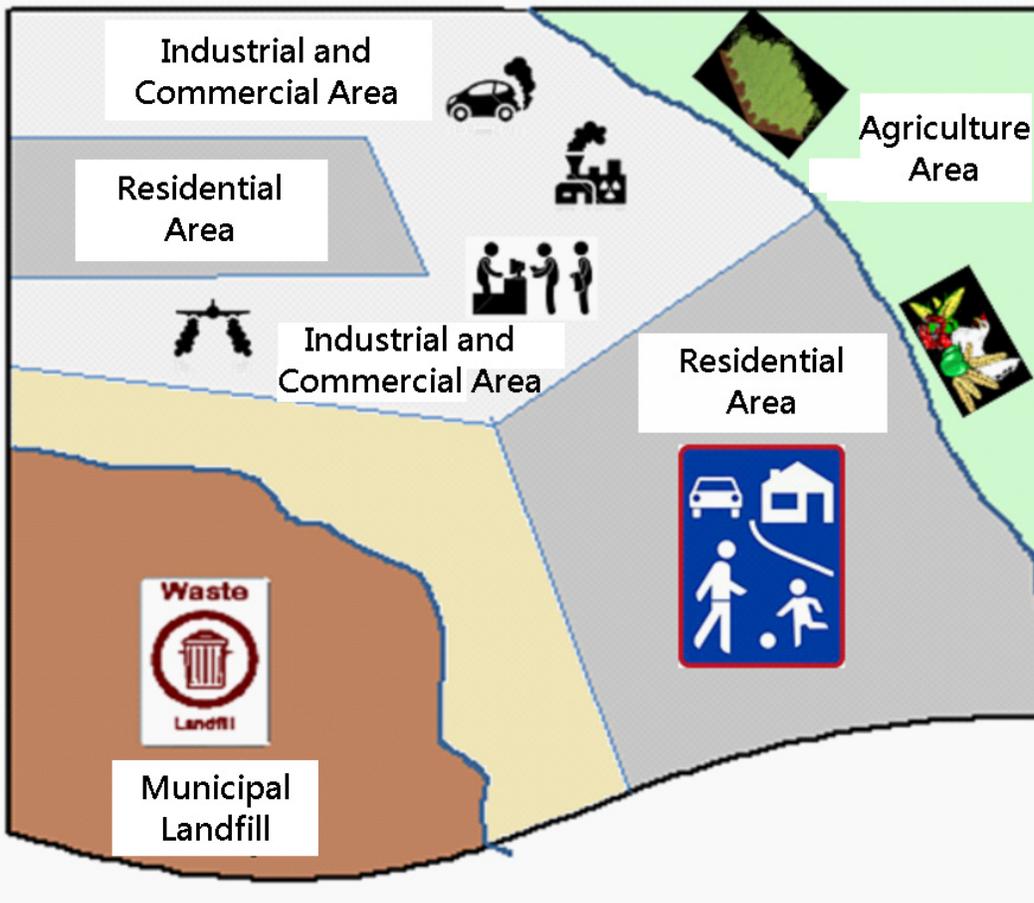
APPENDIX 1. Interactive map of Puerto Rico’s landfill systems in operation with administrative orders from the Environmental Protection Agency.



Source: Solid Waste Authority

Retrieved from the Solid Waste Authority web site at <http://www.ads.pr.gov/wp-content/share/ads/mapas/mapa-infraestructura.html>

APPENDIX 2. Tests (pre- and post-test).



Instructions: Observe the above diagram representing the areas surrounding the municipal landfill. Read carefully the situation below and answer the table provided.

Ms. Beltrán is working with the students in a research project about all the alternatives that could be implemented to reduce the production of solid waste that ends up in a landfill. For this purpose, she went to the landfill where the community's solid waste arrives. In addition to asking the personnel working in the landfill, she also observed what type of solid waste arrived to the location. The types of solid waste arriving to the landfill were listed in table A below. The table consists of 4 columns:

- Column #1 lists the different types of solid wastes that were found in the landfill.
- You will find in Column #2 the possible place of origin for each of the solid wastes. (Use map)
- You will find in Column #3 the appropriate disposal of the solid residue.
- In Column #4 you will explain on your own words, how could it be handled and what could be done with that solid waste to prevent it from ending up in the landfill.

APPENDIX 2. Tests (pre- and post-test) (continued).

Solid Waste	Place of Origin	Disposal Method	Alternative disposal explanation to prevent it from ending up in the landfill.
Cans			
Plastics (cups, recipients, detergents)			
Paper (newspaper, magazines, notebooks, computer paper, etc.)			
Water bottles			
Oil recipients and water bottles with used cooking oil.			
Landscaping waste (branches, leaves, grass, etc.)			
Food residues (many peels were seen).			
Cardboard			
Glass			
Sugar cane remains, plant material from crops			
Plastic Bags			
Animal remains (dead animals, poultry remains)			

APPENDIX 3. Rubric to grade the tests.

Solid Waste	3	2	1
Cans	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies all disposal methods possible: reutilization, recycling, energetic recovery, and landfills. Correct explanation of waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies 3 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least two waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies from 2 to 1 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least one waste handling method.
Plastics (bottles, recipients, detergents)	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies all disposal methods possible: reutilization, recycling, energetic recovery, and landfills. Correct explanation of waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies 3 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least two waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies from 2 to 1 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least one waste handling method.
Paper (newspaper, magazines, notebooks, computer paper, etc.)	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies all disposal methods possible: reutilization, recycling, energetic recovery and landfills. Correct explanation of waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies 3 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least two waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies from 2 to 1 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least one waste handling method.

APPENDIX 3. Rubric to grade the tests.(continued).

Solid Waste	3	2	1
Water bottles	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies all disposal methods possible: reutilization, recycling, energetic recovery, and landfills. Correct explanation of waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies 3 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least two waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies from 2 to 1 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least one waste handling method.
Oil recipients and water bottles with used cooking oil.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies all disposal methods possible: reutilization, recycling, energetic recovery, and landfills. Correct explanation of waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies 3 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least two waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies from 2 to 1 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least one waste handling method.
Landscaping waste (branches, leaves, grass, etc.)	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, industrial, and agricultural areas. Identifies all disposal methods possible: reutilization, recycling, energetic recovery, and landfills. Correct explanation of waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies 3 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least two waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies from 2 to 1 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least one waste handling method.

APPENDIX 3. Rubric to grade the tests. (continued).

Solid Waste	3	2	1
Food residues (many peels were seen).	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies all disposal methods possible: reutilization, recycling, energetic recovery, and landfills. Correct explanation of waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies 3 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least two waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies from 2 to 1 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least one waste handling method.
Cardboard	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies all disposal methods possible: reutilization, recycling, energetic recovery, and landfills. Correct explanation of waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies 3 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least two waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies from 2 to 1 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least one waste handling method.
Glass	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies all disposal methods possible: reutilization, recycling, energetic recovery, and landfills. Correct explanation of waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies 3 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least two waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies from 2 to 1 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least one waste handling method.

APPENDIX 3. Rubric to grade the tests. (continued).

Solid Waste	3	2	1
Sugar cane residues, plant material from crops	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, industrial, and agricultural areas. Identifies all disposal methods possible: reutilization, recycling, energetic recovery, and landfills. Correct explanation of waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies 3 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least two waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies from 2 to 1 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least one waste handling method.
Plastic bags	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies all disposal methods possible: reutilization, recycling, energetic recovery, and landfills. Correct explanation of waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies 3 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least two waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies from 2 to 1 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least one waste handling method.
Animal remains (dead animals, poultry remains)	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, industrial, and agricultural areas. Identifies all disposal methods possible: reutilization, recycling, energetic recovery, and landfills. Correct explanation of waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies 3 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least two waste handling methods.	Identifies the main zones of origin, such as residential, commercial, and industrial areas. Identifies from 2 to 1 solid waste disposal alternatives. Explanation of at least one waste handling method.

APPENDIX 4. Teacher's journal for the socialized discussion of the motivational situation.

Possible questions	Student's answers	Alternative conceptions	Students' inquiries
What is your reaction after watching the video?			
Is solid waste really a problem in Puerto Rico? Why is it a problem?			
Have you ever thought about this problem before watching the video?			
Do you engage in activities or conduct actions to reduce the amount of solid waste that end up in the landfill?			

APPENDIX 5. Work Sheet Household Waste Inventory.

EDUCATE, TAKE ACTION AND LIVE

HOUSEHOLD WASTE INVENTORY

WORKSHEET 1

Items	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Day 7
	Waste						
Plastic							
Cardboard							
Paper							
Glass							
Aluminum							
Foam							
Food							
Others							

APPENDIX 7. Checklist: Oral Report- Alternatives to diminish and handle solid waste.

Criteria	Yes	No	Comments
<p>Students demonstrated mastery of content in the assigned alternative when explaining the information</p> <p>(They were not limited to reading the presentation)</p>			
<p>They used examples and graphics about the topic.</p>			
<p>The information presented was summarized and organized.</p>			
<p>The assigned material was researched in different sources of information.</p> <p>(They provided references)</p>			
<p>Students compared with other countries the statistical data of the assigned alternative usefulness in Puerto Rico.</p>			
<p>Students explained whether the Government of Puerto Rico works or has worked with the assigned alternative and the results they have obtained.</p>			
<p>They answered the questions asked by their peers and the teacher.</p>			

APPENDIX 8. Design and Build Model Rubric.

	4	3	2	1
Plan	Plan is neat with clear measurements and labeling for all components.	Plan is neat with clear measurements and labeling for most components.	Plan provides clear measurements and labeling for most components.	Plan does not show measurements clearly or is otherwise inadequately labeled.
Information	Accurate information, define and clearly explains the type of energy recovery alternative presented.	Accurate information, define and explains the type of energy recovery alternative presented.	Accurate information, define and explains not clearly the type of energy recovery alternative presented.	Accurate information, define or explains not clearly the type of energy recovery alternative presented.
Construction Materials	Appropriate materials were selected and creatively modified in ways that made them even better.	Appropriate materials were selected and there was an attempt at creative modification to make them even better.	Appropriate materials were selected.	Inappropriate materials were selected and contributed to a product that performed poorly.
Construction Care Taken	Great care taken in construction process so that the structure is neat, attractive and follows plans accurately.	Construction was careful and accurate for the most part, but 1-2 details could have been refined for a more attractive product.	Construction accurately followed the plans, but 3-4 details could have been refined for a more attractive product.	Construction appears careless or haphazard. Many details need refinement for a strong or attractive product.
Function	Structure functions extraordinarily well, holding up under atypical stresses.	Structure functions well, holding up under typical stresses.	Structure functions pretty well, but deteriorates under typical stresses.	Flaws in function with complete failure under typical stresses.

APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS AGRO ESCOLARES: ESTRATEGIA EDUCATIVA PARA APRENDER MODELOS MATEMÁTICOS

Tomás Díaz Berríos

¹Center for Science and Math Education Research

²Puerto Rico Department of Education

RESUMEN

En esta investigación se examinó principalmente el aprendizaje de modelos matemáticos logrado por estudiantes de escuela superior (12° grado) mediante el modelaje matemático y el Aprendizaje Basado en Proyectos, que incluían investigación científica en estaciones agrícolas. Se estudió también la influencia de esta combinación de estrategias educativas en el interés por la investigación científica y las carreras asociadas a las ciencias y las matemáticas, al igual que en la concienciación acerca de la anunciada crisis alimentaria mundial. Los estudiantes ($n = 21$) diseñaron e implantaron múltiples actividades de investigación en estaciones agrícolas, en que aplicaron la modelación matemática. Una prueba de aprovechamiento, administrada como pre y pos prueba, mostró un incremento significativo en el aprendizaje estudiantil acerca de los modelos matemáticos. Un cuestionado con preguntas abiertas, administrado dos años después de culminado el proyecto, demostró el interés que el mismo suscitó en los estudiantes por la investigación científica y las carreras asociadas a las ciencias y matemáticas, además de la concienciación desarrollada por el problema de la crisis alimentaria y la búsqueda de soluciones para mitigarla.

Palabras clave: Modelos matemáticos, Funciones lineales, polinómicas, logarítmicas y exponenciales, Nivel superior, Aprendizaje Basado en Proyectos, Agricultura, Crisis Alimentaria, Carreras STEM.

ABSTRACT

This action research mainly examined high school students' (12th grade) learning of mathematical models using mathematical modeling and Project Based Learning, that included science research in agriculture stations. The study also examined the influence of this combination of educational strategies in student interest for scientific research and STEM careers, as well as their awareness about the predicted world-wide food crisis. Students ($n = 21$) designed and implemented multiple research activities in agricultural stations in which they applied mathematical modeling. An academic achievement test, administered as pre- and post- test, showed a significant gain in the students' knowledge of mathematical models. An open-ended questionnaire, administered two years after the project's ending, showed a marked student interest in scientific research and STEM careers, besides awareness for the food crisis problem and the search for solutions to mitigate it.

Keywords: Mathematical models, linear, polynomial, logarithmic and exponential functions, highschool, Project Based Learning, agriculture, food crisis, STEM careers.

INTRODUCCIÓN

Este estudio es una “investigación acción” en que se examinó principalmente el aprendizaje de modelos matemáticos logrado por estudiantes de escuela superior mediante el modelaje matemático y el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP, PBL por sus siglas en inglés), en que se integraron las disciplinas STEM (término que denota las siglas en inglés de: ciencias, tecnología, ingeniería, matemáticas) junto con la investigación científica en estaciones agrícolas, lo cual se denominó AGRO-STEM. Se estudió también la influencia de esta combinación de estrategias educativas en el interés por la investigación científica y las carreras asociadas a las ciencias y las matemáticas, al igual que en la concienciación acerca de la anunciada crisis alimentaria mundial. Dicho estudio se realizó en una escuela superior, que sirve a aproximadamente 530 estudiantes, localizada en un municipio de la región central de Puerto Rico. Dicho municipio tiene una población de aproximadamente 23,500 habitantes y un índice de pobreza de 60.4 por ciento. La investigación se realizó en el año escolar 2013-14 con un grupo de 21 estudiantes de 12° grado (16 féminas y 5 varones) que tomaban el curso de Nivel Avanzado de Pre-Cálculo.

La motivación para realizar este estudio surge de la convicción personal de que estamos viviendo en esta década una integración de distancias y diferencias. En todos los sectores aparecen indicios de cambios significativos. Sin duda, hoy más que antes, dependemos de los conocimientos como savia vital. No es necesaria mucha imaginación para percibir que el futuro de la civilización y de la propia supervivencia va a depender, cada vez más,

del conocimiento y de la creatividad de cada individuo.

Esta situación tiene implicaciones para nuestra tarea como educadores ya que, en última instancia, en los cambios cada vez más rápidos e intensos lo que permanece es el conocimiento. En medio de ese “aire” de cambios, tener conocimiento específico y ejercer la mera transmisión no es suficiente en la educación. Es fundamental que procuremos facilitar, cada día, la adquisición y producción de nuevos conocimientos y habilidades para aplicar y socializar conocimientos.

Es en ese contexto que la modelización, en especial la modelización matemática, viene siendo defendida como método de enseñanza y de investigación (Hein y Salett Biembengut 2006). La misma consiste en el arte de traducir un fenómeno determinado o problemas de la realidad en un lenguaje matemático: el modelo matemático. La matemática no sólo contribuye extraordinariamente al ejercicio intelectual, sino también es el lenguaje de la ciencia, considerando que la modelación matemática está en la raíz de muchas creaciones científicas de la humanidad.

La educación para el siglo XXI ha de promover cambios en estrategias y metodologías de enseñanza por medio de las cuales se facilite el aprendizaje de los estudiantes con el fin de desplazar los métodos tradicionales como actividad central del proceso educativo (Bernstein 1998 y Díaz Barriga 2009). Fundamentado en ello, en este estudio se utiliza, en conjunto con la modelación matemática, una estrategia educativa que permite al estudiantado adquirir conocimientos y crear en el proceso de generar alternativas para enfrentar un problema actual. Dicha estrategia, denominada ABP, se

caracteriza por la presentación de un problema y la creación de un proyecto que contribuya a su solución (Velázquez y Figarella 2012). La misma ha resultado ser un medio útil para que los estudiantes conecten el aprendizaje escolar con su realidad y a su vez vean las conexiones entre diferentes disciplinas

El problema real que se aborda en el proyecto es la crisis alimentaria que se avecina en el mundo, incluyendo el área de Latino América y el Caribe (Gordillo de Anda 2004). Puerto Rico, específicamente, es especialmente vulnerable a esta crisis dado su alto nivel de importación de alimentos. Por otro lado, el problema educativo que da pie al estudio radica en la dificultad que presentan los estudiantes con el análisis e interpretación de datos en los conceptos de funciones lineales, polinómicas, exponenciales, logarítmicas. A su vez, muestran dificultades en la comprensión y aplicación de dichos modelos matemáticos en situaciones de la vida real. Un problema que paralelamente se atiende es el que haya declinado el número de estudiantes que seleccionan estudiar carreras de ciencias e ingeniería (Bosch et al. 2011).

El Proyecto realizado mediante el ABP, por consiguiente, constó de múltiples actividades Agro-STEM, en que se utilizó el modelaje matemático como método de enseñanza e investigación. Se espera lograr mediante esta intervención que estudiantes de escuela superior mejoren su aprendizaje de modelos matemático, aumente su interés por la investigación científica y las carreras relacionadas a ésta, y se concienticen acerca de la crisis alimentaria al generar alternativas para enfrentarla. Por tanto, las preguntas que se plantearon para esta investigación acción son:

1. ¿Cómo impactó el aprendizaje de modelos matemáticos la participación de estudiantes de escuela secundaria en un proyecto agro-escolar, asociado a la seguridad alimentaria de Puerto

Rico, en que se insertó la modelación matemática?

2. ¿Cómo contribuyó su participación en dicho proyecto, en que se integra la investigación científica, en el interés del estudiantado por este tipo de investigación y por seleccionar carreras asociadas a las matemáticas y ciencias?
3. ¿Cómo contribuyó la participación en dicho proyecto, en que se desarrollaron alternativas preventivas e innovadoras para mitigar una crisis alimentaria, a la concienciación del estudiantado acerca de la seguridad alimentaria?

REPASO DE LITERATURA

Un medio para lograr objetivos de aprendizajes principales requeridos por el Departamento de Educación de Puerto Rico en la educación del nivel secundario lo constituye el uso de estrategias educativas innovadoras, entre las que se incluye el Aprendizaje Basado en Proyectos. Dicha estrategia, al igual que el ABP, se caracteriza porque llena necesidades de aprendizaje del estudiantado, ayuda a reconocer las posibles soluciones de un problema y tiene un enfoque inductivo holístico (Velázquez y Figarella 2012). Inductivo, porque el aprendizaje ocurre a partir de situaciones particulares facilitando que el estudiante construya sus propias explicaciones, y holístico porque involucra el estudio de fenómenos complejos requiriendo diversidad de enfoques y perspectivas. Morán Moguel y Jiménez Espirú (2011) indican que a través de cursos desarrollados mediante proyectos se han logrado mejores resultados en el aprovechamiento académico de estudiantes en matemáticas y ciencias. Sánchez (2013) señala que los alumnos que trabajan con proyectos presentan mayor motivación, tienen una mayor relación con el profesor y abordan temas transversales a otras asignaturas.

El incremento en la motivación hacia el aprendizaje es un asunto de gran importancia para la enseñanza de las matemáticas y las ciencias. Bosch et al. (2011) señala que la sociedad ha mostrado desde hace varias décadas su preocupación por la enseñanza de dichas disciplinas, ya que cada vez hay más renuencia por parte de la juventud de estudiar carreras de ciencias e ingeniería y, además, se va incrementando el número de estudiantes que abandonan el estudio de dichas carreras. Al respecto, se considera que el mundo moderno requiere que los jóvenes adquieran una preparación integrada e interdisciplinaria de ciencias y matemáticas, particularmente para entender problemas complejos de ingeniería, biología, medio ambiente, propagación de enfermedades y epidemias, entre otros. Es necesario, además, que los jóvenes se habitúen a hacer mediciones, análisis de datos, estudio y comprensión de gráficas para proponer modelos que conjuntamente con matemáticos tratarán de resolverlos y hacer predicciones futuras, procesos que el ABP viabiliza. De esta forma, a medida que se resuelven problemas en diversas situaciones aplicadas, se desarrollan habilidades críticas para el éxito en la vida profesional (West Virginia Department of Education 2013).

Como se indica antes, abordar temas transversales a diversas disciplinas es un elemento característico del PBL. Dicha transversalidad, en el presente estudio, involucra la interconexión entre las STEM. A continuación, hacemos una breve explicación de las cuatro disciplinas STEM, apoyado por el trabajo de Margaret Honey, Greg Pearson, y Heidi Schweingruber (National Research Council 2009), indicamos, además, como el proyecto realizado involucra las mismas:

- La ciencia es el estudio del mundo natural, incluyendo las leyes de la naturaleza asociadas a la física, la

química, la biología y la aplicación de hechos, principios, conceptos o convenciones asociadas a estas disciplinas. El proyecto realizado incluyó diversas actividades de investigación científica en varias ciencias.

- Tecnología, aunque no es definida como una disciplina, incluye un sistema completo de personas, organizaciones, conocimientos, procesos y dispositivos que se utilizan para la creación y el funcionamiento de los equipos tecnológicos, así como los propios equipos. En el proyecto realizado los estudiantes hicieron uso de tecnologías como la calculadora gráfica, los sensores de pH y temperatura, y la computadora.
- Ingeniería es a la vez un cúmulo de conocimientos, sobre el diseño y la creación de productos hechos por los humanos y un proceso para la solución de problemas. Una de las actividades del proyecto realizado incluyó la creación de un generador de energía.
- La matemática es el estudio de los patrones y relaciones entre cantidades, números y espacio. El aprendizaje de modelos matemáticos fue el foco principal de este estudio. Además de las disciplinas STEM, el proyecto realizado involucró la agricultura.
- Agricultura es el arte de cultivar; se puede entender a la agricultura como al conjunto de técnicas destinadas a cultivar la tierra con el fin de obtener productos de ella. El proyecto realizado consistió de múltiples actividades agrícolas variadas desarrolladas por los estudiantes: producción de composta, de vermicomposta, hidroponía, acuaponía y huertos.

En este trabajo se denominó AGRO – STEM la combinación de las cinco disciplinas antes identificadas que se integraron en el proyecto, el cual se llamó Proyecto Agro-Escolar Vida. Las actividades que se realizaron en el Proyecto responden al llamado de Parvez (2011) de promover la agricultura a través de las disciplinas STEM para luchar contra las consecuencias del cambio climático que está afectando a la población mundial. Dicho cambio, que se está produciendo en un periodo de creciente demanda de alimentos, semillas, fibra y combustible, podría dañar irreversiblemente la base de recursos naturales de la que depende la agricultura. La relación entre el cambio climático y la agricultura es un cambio bidireccional: la agricultura contribuye al cambio climático de varias formas importantes y el cambio climático en general afecta negativamente a la agricultura. Los fenómenos climáticos extremos (inundaciones y sequías) van en aumento y se calcula que su frecuencia y magnitud se incrementarán y que probablemente afecten de forma considerable a todas las regiones del planeta, por lo que respecta a la producción forestal y de alimentos y a la seguridad alimentaria. Existe un riesgo serio de conflictos por tierras habitables y recursos naturales tales como el agua dulce. El cambio climático está afectando a la distribución de plantas, las especies introducidas, las plagas y los vectores de enfermedades y es posible que aumenten la incidencia y la localización geográfica de muchas enfermedades del ser humano, los animales y las plantas.

La modelación matemática, otro elemento clave de este estudio, ha sido descrita ampliamente por Nelson Hein y María Salett Biembengut (2006). La misma consiste en el arte de traducir un fenómeno determinado o problema de la realidad en un lenguaje matemático: el modelo matemático. Un modelo matemático de un fenómeno es un conjunto de símbolos y relaciones matemáticas que traducen, de alguna forma, el fenómeno en

cuestión. El modelo permite no sólo obtener una solución particular sino también servir de soporte para otras aplicaciones o teorías. En la práctica, ese conjunto de símbolos y relaciones puede estar vinculado a cualquier rama de la matemática, en particular, a los instrumentos fundamentales de las aplicaciones matemáticas. Como casi toda actividad científica, particularmente, la actividad matemática consiste en crear modelos. La elaboración de un modelo matemático requiere, por parte del modelador, de conocimientos tanto matemático como de la situación. Y más aún: una buena dosis de intuición y creatividad para interpretar el contexto y discernir cuáles son las variables envueltas. Con la modelación se recorre el camino de la investigación científica.

En las últimas décadas, en diversos países, viene creciendo un movimiento en pro de esta metodología en el proceso de enseñanza de la matemática. En la última década, especialmente, se han venido realizando investigaciones que legitiman la modelización en el proceso de enseñanza de matemática en cualquier nivel escolar. Preocupaciones sobre qué, cómo, cuándo y para qué enseñar matemática han contribuido en el fortalecimiento de esas investigaciones en el área de la Educación Matemática. La Modelización Matemática, originalmente, como metodología de enseñanza parte de un tema o asunto acerca del cual se desarrollan preguntas. Esas preguntas deberán ser respondidas mediante el uso del conjunto de herramientas matemáticas y de la investigación sobre el tema. Se trata, es lógico, de una forma placentera de investigar el tema que es capaz de llevar al alumno a construir conocimientos significativos, ya sea en forma de conceptos matemáticos, o sobre el tema que se estudia. La idea de muchos defensores es la de que cada alumno pueda escoger un tema o asunto de alguna área de su interés, hacer una investigación al respecto, proponer preguntas y, bajo la orientación del profesor, elaborar un modelo matemático. En estos términos,

el alumno pasa a ser corresponsable por su aprendizaje y el profesor, un orientador. El aprendizaje se vuelve más rico, considerando que el alumno no sólo aprende matemática inserta en el contexto de otra área del conocimiento, sino que también despierta su sentido crítico y creativo.

La modelización matemática, por tanto, es un método de enseñanza y de investigación que se vale de la esencia de la modelización. Con su aplicación, se espera propiciar en el alumno: que integre la matemática con otras áreas del conocimiento; se interese por la matemática frente a su aplicabilidad; mejore el aprendizaje de los conceptos matemáticos; se estimule su creatividad en la formulación y resolución de problemas; desarrolle habilidad en el uso de máquinas (ej., calculadora gráfica y computadora); cultive la capacidad para actuar en grupo: se oriente acerca de cómo realizar investigaciones y desarrolle capacidad para la redacción de esa investigación.

DISEÑO DEL ESTUDIO

El propósito principal de esta investigación acción fue mejorar el aprovechamiento académico de los estudiantes de nivel superior en relación al estándar de Funciones. Dicho estándar indica: “El estudiante es capaz de entender, interpretar, analizar y construir modelos de diversas funciones y sus representaciones. Esto incluye las descripciones verbales, tablas y ecuaciones y gráficas para hacer predicciones y analizar las relaciones al solucionar problemas matemáticos complejos de la vida diaria” (Departamento de Educación 2014). Específicamente se abordaron dos expectativas de dicho estándar:

- Escribe una función que describa una relación entre dos cantidades. Determina una expresión explícita, un proceso recursivo o pasos para un cálculo a partir de un contexto.

Utiliza operaciones aritméticas para combinar diferentes tipos de funciones (ES.F.25.1).

- Construye funciones lineales y exponenciales, incluye sucesiones aritméticas y geométricas, dada una gráfica, una descripción de la relación, o pares de entradas y salidas (incluye leer ésta en una tabla) para resolver problemas (ES.F.27.1).

Propósitos adicionales fueron interesar a los estudiantes en la investigación científica, motivarles a fijarse metas en su vida profesional relacionadas a las disciplinas STEM, y a su vez concienciarse acerca de la crisis alimentaria y sus soluciones. Para lograr dichos propósitos, se implantó una acción educativa que combina el ABP (Velázquez y Figarella 2012) y la modelización matemática (Hein y Salett Bienbengut 2006). Las guías que proveen estos dos grupos de autores para realizar intervenciones de este tipo se utilizaron para planificar la intervención.

En primera instancia se presentó una situación motivadora que sirviera de contexto al proyecto a ser desarrollado. Dicha situación fue el problema de crisis alimentaria que se avecina en el mundo en los próximos cincuenta años. Esta se presentó a los estudiantes mediante conferencias en videos sobre investigaciones científicas que ha realizado la *Food & Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) respecto a dicho problema. Mediante los videos se intentó llevar a los estudiantes a los niveles más altos de razonamiento y pensamiento crítico para viabilizar la búsqueda de soluciones a dicho problema. Los estudiantes luego hicieron una búsqueda de posibles ideas y soluciones para prevenir la crisis alimentaria. Los estudiantes, tras un torbellino de ideas, determinaron llevar a cabo un proyecto agrícola. Se formaron grupos, como máximo de 2 alumnos, y cada

grupo eligió un asunto de su interés para llevar a cabo una actividad del Proyecto que incluía la investigación científica. Una vez elegido el asunto, el maestro propuso que obtuvieran información mediante bibliografía especializada y/o especialistas.

Antes de comenzar el proyecto, para propósitos de la investigación acción, se aplicó una preprueba para explorar los niveles de conocimientos sobre modelos de funciones polinómicas y no polinómicas de los estudiantes. La misma se administró de nuevo como posprueba al finalizarse el Proyecto Vida.

Como antesala al desarrollo del proyecto el maestro preparó e implantó siete actividades de modelaje matemático llevadas a cabo en el salón de clases las cuales enfocan modelos de funciones integrando el uso de tecnologías como sensor de pH y de temperatura, calculadora gráfica TI – 84 Plus y programados (software) en computadoras. Estas actividades sirvieron para que los estudiantes se familiarizaran con el modelaje matemático y practicasen el uso de dichas tecnologías, lo que serviría de preparación para el desarrollo del Proyecto. Estas actividades iniciales tuvieron los siguientes objetivos: a) resolver problemas de aplicación que se pueden modelar por medio de una función, b) encontrar funciones de potencia para modelar un conjunto de datos y c) explicar los parámetros del modelo.

Componente de Acción

Para diseñar las actividades del Proyecto, los grupos elaboraron una serie de preguntas y una síntesis de la investigación a realizar las cuales el maestro revisó para ayudarles a delimitar y precisar las mismas. Se plantearon así las preguntas de investigación y se establecieron los procedimientos a seguir para realizar las actividades del Proyecto. Dichas actividades incorporaron la modelación matemática y la investigación científica y se llevaron a cabo en

cinco estaciones experimentales agrícolas que se crearon en el plantel escolar: producción de composta, producción de vermicomposta, hidroponía, acuaponía y huertos caseros.

Para entender mejor en que consistieron estas estaciones definimos a continuación dichos términos. Composta es el producto que se obtiene del proceso de degradación resultante de la mezcla de distintos desechos orgánicos. Vermicomposta es un tipo de composta en que se utilizan primordialmente lombrices para descomponer la materia orgánica. Hidroponía es la ciencia dedicada al cultivo de plantas en un medio húmedo, en el que sus nutrientes minerales los absorben de sales diluidas en el agua utilizada para su riego. Acuaponía constituye una integración entre el cultivo de peces y uno hidropónico de plantas; éstos se unen en un único sistema de recirculación, en el cual se juntan ambos componentes. Huerto casero es el pedazo de terreno en el cual se siembran vegetales, frutas o plantas que se consumen en el hogar. (La información anterior procede principalmente de Rakocy (1999) y las páginas electrónica Significados y Mi Puerto Rico Verde.)

Dichas actividades tenían el propósito principal de que los estudiantes, mediante experiencias de investigación en pequeñas comunidades de aprendizaje, interpretaran y analizaran el significado del concepto modelar datos con funciones (Tabla 1).

Como se puede deducir de la Tabla 1, el Proyecto facilitó la capacitación de los estudiantes participantes en la producción de alimentos reciclando desechos orgánicos, para producir composta y vermicomposta, que fue utilizada como fertilizante en huertos caseros ecológicos, y en cultivos en hidropónicos y acuapónicos para la producción de alimentos. Durante el transcurso del desarrollo del Proyecto los estudiantes obtuvieron información de contenido matemático y científico, en forma

TABLA 1. Actividades de investigación en que se modelaron funciones matemáticas.

Componente	Descripción de los Componentes de las Actividades
<i>Actividad #1. Efecto de Agua Oxigenada en el Potencial de Hidrógeno (pH)</i>	
Pregunta de investigación	¿Cómo afecta el agua oxigenada el pH de las compostas?
Hipótesis	Si se crea la composta con desechos de alimentos ácidos, (cascaras de limón, toronja y china), y luego se le agrega agua oxigenada (H_2O_2), su potencial de hidrógeno (pH) será por lo menos 7, lo cual es neutral, o de 8-10 que es básico.
Estación	Producción de Composta
Variables bajo estudio	Variable Independiente: Cantidad de H_2O Destilada y H_2O_2 (ml) Variable Dependiente: Cambio en Potencial de Hidrógeno (pH)
Grupos	Grupo Control: Composta Neutral y Ácida con Agua Destilada Grupo Experimental: Composta Neutral y Ácida con Agua Oxigenada
Modelo	Función Logarítmica
Resultado	Con los datos recopilados se confirmó la hipótesis. Se notó gran diferencia en el pH de una composta ácida con agua oxigenada y una con agua destilada (5.89).
Proyecciones futuras	Puedo ayudar a personas conocer cómo mejorar a Puerto Rico creando compostas saludables para luego crear nuestros propios alimentos.
<i>Actividad #2: La Eficacia de Distintos Suelos en el Crecimiento de la Planta de Ají Dulce</i>	
Pregunta de investigación	¿Cómo se afecta el crecimiento de la planta de ají (<i>Capsicum Chinense</i>) según su suelo?
Hipótesis	Si sembramos la semilla de ají dulce en composta, entonces su crecimiento será más rápido y más eficiente que si se siembran en suelo natural.
Estación	Producción de Composta
Variables bajo estudio	Independiente: Suelo en el que se siembra (Suelo Natural, Suelo Comercializado: Promix, Composta). Dependiente: Tiempo de rapidez en el crecimiento de la planta.
Grupos	Grupo Control: Plantas sembradas en suelo natural Grupos Experimentales: Plantas sembradas en los otros tipos de suelo
Modelo	Función Lineal

TABLA 1. Actividades de investigación en que se modelaron funciones matemáticas. (continuación).

Componente	Descripción de los Componentes de las Actividades
Resultado	Los tres suelos son buenos para la siembra, pues el crecimiento fue ascendente, aunque en unos más que en otros. La hipótesis no se confirmó ya que el suelo con mayor eficacia lo fue el “promix”, no la composta.
Proyecciones futuras	Experimentar el suelo que resultó ser más eficaz con otros tipos de semillas, para comprobar si verdaderamente es eficiente en otro tipo de planta. Utilizar 4 plantas distintas en cada suelo y ver cuál es la diferencia en su crecimiento.
Actividad #3: El efecto del tipo de composta en la planta <i>Phaseolus Vulgaris</i>	
Pregunta de investigación	¿Qué tipo de composta es más recomendable para fertilizar la planta <i>Phaseolus Vulgaris</i> ?
Hipótesis	Si usamos diferentes tipos de compostas como fertilizantes en plantas <i>Phaseolus Vulgaris</i> , la fertilizada con composta mixta tendrá un mayor crecimiento.
Estación	Producción de Composta
Variables bajo estudio	Independiente: Los tipos de fertilizante (Composta Mixta vs. Pasto triturado; Hojas solamente; Hojas, grama y estiércol) Dependiente: El crecimiento de la planta <i>Phaseolus Vulgaris</i>
Grupos	Grupo Experimental: Plantas sembradas fertilizadas con composta mixta Grupo Control: Plantas sembradas con otros tipos de compostas
Modelo	Función Lineal
Resultado	Las plantas <i>Phaseolus Vulgaris</i> fertilizadas con la composta mixta tuvieron un mayor crecimiento. Se probó, por tanto, la hipótesis.
Proyecciones futuras	Hacer un análisis más exhaustivo sobre los nutrientes, los minerales y los metales presentes en las compostas. Orientar sobre el beneficio de la composta no solo como fertilizante ni como medio o alternativa de reducción de los desperdicios sólidos. Fomentar el compromiso de nuestros compañeros y de nuestra familia para tomar como alternativa esta solución al problema ambiental.
Actividad #4: Fertilizante orgánico en sistema hidropónico de <i>Lectucas Sativas</i>	
Pregunta de investigación	¿Podrá generarse un fertilizante orgánico, que sea más efectivo que el fertilizante químico (NPK) para el crecimiento de la lechuga romana (<i>Lactucas sativas</i>) en un sistema hidropónico?
Hipótesis	El fertilizante orgánico generado será más efectivo para el crecimiento de las <i>Lactucas sativas</i> (lechuga romana) que el químico en un sistema hidropónico.

TABLA 1. Actividades de investigación en que se modelaron funciones matemáticas. (continuación).

Componente	Descripción de los Componentes de las Actividades
Estación	Hidroponía
	Variable Independiente: Fertilizante orgánico generado (té de composta)
VARIABLES bajo estudio	Variable Dependiente: Crecimiento de las Lactucas Sativas (lechuga romana)
	Variables Controladas: cantidad de fertilizante, pH de la solución, tipo de lechuga, lugar y tiempo de exposición
Grupos	Grupo control: Plantas en fertilizante químico
	Grupo experimental: Plantas en fertilizante orgánico generado
Modelo	Modelo Lineal
Resultado	Las quince Lactucas sativas que se desarrollaron en el fertilizante orgánico tuvieron un promedio de crecimiento de 5.10 centímetros y las que se desarrollaron en el fertilizante químico un promedio de 6.49 centímetros
Proyecciones futuras	Aumentar el porcentaje de los nutrientes en el fertilizante orgánico. Suplir el fertilizante a una compañía o personas que cultivan en hidropónicos utilizando el sistema NFT. Generar un fertilizante orgánico totalmente natural que se pueda utilizar tanto en hidropónicos, como en las cosechas tradicionales y huertos.
Actividad #5: Efecto del material orgánico en la reproducción exponencial de lombrices	
Pregunta de investigación	¿Cuál es el efecto del material orgánico en la reproducción exponencial de las lombrices <i>Perionyx Excavatus</i> ?
Hipótesis	Si se añaden frutas, restos vegetales y papel de periódico al cultivo de lombrices <i>Perionyx Excavatus</i> , aumentará su reproducción de forma exponencial.
Estación	Vermicomposta
VARIABLES bajo estudio	Independiente: Tiempo en que se reproducen las lombrices <i>Perionyx Excavatus</i>
	Dependiente: Cantidad de lombrices reproducidas
	Grupo Control: Lombrices <i>Perionyx Excavatus</i> alimentadas solo con lechuga y papel de periódico.
Grupos	Grupo Experimental: Lombrices <i>Perionyx Excavatus</i> alimentadas con lechuga, periódicos, zanahoria, guineo, y fresas.
Modelo	Función Exponencial

TABLA 1. Actividades de investigación en que se modelaron funciones matemáticas. (continuación).

Componente	Descripción de los Componentes de las Actividades
Resultado	La hipótesis se confirmó, ya que el grupo experimental luego de alimentado por 35 días con lechuga, periódico, zanahoria, guineo y fresas se reprodujo más que el grupo control alimentado con lechuga y periódico (140 vs. 100 lombrices).
Proyecciones futuras	Podemos enseñar a la comunidad en general la importancia del vermicompostaje, como llevarlo a cabo y sus beneficios. Nuestra investigación puede ser ampliada estudiando la reproducción de otros tipos de lombrices o utilizando otro material orgánico. Investigar, además, si el material orgánico que estas consumen afecta la calidad el humus que produce la <i>Perionyx Excavatus</i> .
Actividad #6: Efecto de la materia orgánica en la cantidad de humus producido por lombriz	
Pregunta de investigación	¿Cuál es el efecto de la materia orgánica en la cantidad de humus producido por la lombriz <i>Perionyx excavatus</i> (Indian blues)?
Hipótesis	Si se añade composta de café, periódico, lechuga y plátano en la alimentación de lombrices <i>Perionyx excavatus</i> (Indian blues), aumentará la producción de humus
Estación	Vermicomposta
Variables bajo estudio	Variable Independiente: Materia orgánica dada a las lombrices Indian Blues cada quince días. Variable Dependiente: Cantidad de humus producido por las lombrices cada quince días.
Grupos	Grupo Control: Lombrices Indian blues alimentadas solo con composta de café y lechuga
Modelo	Grupo Experimental: Lombrices Indian blues alimentadas con composta de café, papel periódico, lechuga y plátano descompuesto. Función Lineal
Resultado	Se concluyó que añadir distintas variedades de materia orgánica ayuda a que la producción de humus producido por las lombrices <i>Perionyx excavatus</i> sea de mayor cantidad. Aceptando así la hipótesis planteada en la investigación.
Proyecciones futuras	El humus de la lombriz <i>Perionyx excavatus</i> es un abono 100% natural, podría ser utilizado en el crecimiento de plantas. Estudiar otra especie de lombriz, la <i>Eisenia foetida</i> , para comparar la producción de ambas especies y determinar la mejor productora de humus. En una próxima ocasión contaremos la población de las lombrices, para determinar su reproducción de distintas especies.

TABLA 1. Actividades de investigación en que se modelaron funciones matemáticas. (continuación).

Componente	Descripción de los Componentes de las Actividades
<i>Actividad #7: Caracterización inicial de bacterias presentes en los tipos de compostas</i>	
Pregunta de investigación	¿Qué bacterias encontraremos en la etapa termófila de la elaboración de los distintos tipos de compostas?
Hipótesis	Si estudiamos la etapa termófila en los tipos de composta, entonces encontraremos bacilos Gram positivos y Gram negativo termófilas.
Estación	Producción de Composta
Variables bajo estudio	Distintos tipos de compostas; Bacterias termófilas.
Modelo	Función Exponencial
Resultado	La hipótesis fue confirmada ya que las bacterias que siempre tuvieron presente en todas las composta fueron bacilos y cocos, fueron las más predominantes en las compostas, las otras bacterias encontradas variaban por el tipo de composta.
Proyecciones futuras	Identificar una bacteria en la composta que sea excelente degradadora de celulosa. Investigar las bacterias en la etapa mesófila. Investigar si alguna de las bacterias son malignas para la salud del humano. Investigar si las bacterias obtenidas en cada una de las compostas tienen que ver con la fertilidad de estas.
<i>Actividad #8: Importancia de los fertilizantes durante el crecimiento de las plantas</i>	
Pregunta de investigación	¿Qué tipo de fertilizante fomenta más el crecimiento de las plantas y la calidad del suelo: el orgánico o el químico?
Hipótesis	Si utilizamos el fertilizante orgánico, la planta crecerá en un suelo más estable y no acidificado, lo cual es más conveniente para el crecimiento de las plantas.
Estación	Huertos Caseros
Variables bajo estudio	Variable dependiente: Crecimiento de la planta medida en centímetros (cm). Variable independiente: Tipo de fertilizante aplicado Variable controlada: Cantidad de fertilizante, tiempo de crecimiento (una semana), intensidad de la luz y la cantidad de agua.
Modelo	Función Lineal
Resultado	La hipótesis fue rechazada, ya que no se confirmó que las semillas de tomate sembradas en la composta crecieran más fuertes y con mayor rapidez.

TABLA 1. Actividades de investigación en que se modelaron funciones matemáticas. (continuación).

Componente	Descripción de los Componentes de las Actividades
Proyecciones Futuras	Sembrar grandes cantidades de productos frescos sin químicos para venderlos al consumidor. Enseñar como prepararse para enfrentar una crisis alimentaria.
Actividad #9: El viento fuente de energía del futuro	
Pregunta de investigación	¿Podrá un generador eólico, construido con materiales reciclables, almacenar energía eólica en una batería?
Hipótesis	Si se construye un generador con materiales reciclables, entonces este utilizará el viento para almacenar energía en una batería.
Estación	Ingeniería Producto de ingeniería: Generador eólico construido con materiales reciclables
Asunto	
Variables Bajo Estudio	Elementos especificados: Tamaño del generador; Tamaño de aspas; Tipo de batería; Tipo de alternador; Tamaño de los camones; Tipo de regulador Variable: Energía eólica acumulada en una batería
Modelo	La función $f(\lambda, \sigma, \theta)$: $-2^\circ @ 10^\circ$; Solidez del perfil (σ) : $0,06 @ 0,10$; Relación de velocidad (λ) : $2 @ 8$
Resultado	La construcción del generador eólico fue un excelente prototipo. Ayudó a mostrar que una opción para que la contaminación y la crisis económica disminuyan es una simple máquina, no grande pero que si hace una diferencia.
Proyecciones Futuras	Mejorar el generador eólico cambiando elementos como las aspas, el alternador, el diámetro del dámper. Si continuamos mejorándolo, por sus beneficios, obtendremos una máquina eficiente que otras personas querrían imitar.
Actividad # 10: Costo Efectividad del Humus	
Pregunta de investigación	¿Se podrá obtener mayor costo efectividad si se prepara una composta mixta vs una hecha en el mercado?
Hipótesis	Si se realiza una composta mixta entonces habrá mayor nivel de costo efectividad.
Estación	Producción de Composta

TABLA 1. Actividades de investigación en que se modelaron funciones matemáticas. (continuación).

Componente	Descripción de los Componentes de las Actividades
	Variable Dependiente: Nivel de costo efectividad
Variables bajo estudio	Variable Independiente: Tipo de composta (la composta mixta vs la del mercado)
	Variables Controladas: Cantidad de composta, materiales
Modelo	Función Lineal
Resultado	La hipótesis fue rechazada porque no obtuvimos más ganancia que la composta comercial debido a la vasta experiencia que poseen en la venta de composta.
Proyecciones futuras	Realizar composta a mayor escala y analizarla por más tiempo. Estudiar el efecto de estas compostas en las plantas porque esto aumentaría el volumen de ventas de compostas ya que las personas también escogen por la calidad de éstas.
Actividad #11: Optimizar por medio de acuaponía la producción de <i>Lactucas sativas</i> (Lechuga romana) utilizando el pez <i>Myleus pacu</i> (Pacú)	
Pregunta de investigación	¿Será más eficiente el pez <i>Myleus pacu</i> (Pacú) mediante la acuaponía en la producción de <i>Lactucas sativas</i> (Lechuga romana)?
Hipótesis	El pez <i>Myleus pacu</i> (Pacú) será más eficiente que el pez <i>Oreochromis mossambicus</i> (Tilapia) para el mejoramiento del cultivo de las <i>Lactucas Sativas</i> (Lechuga romana) en la acuaponía
Estación	Acuaponía
Variables bajo estudio	Variable Independiente: Tipo de Pez Variable Dependiente: Crecimiento de la planta (cm)
Grupo	Grupo Control: Cultivo con <i>Oreochromis mossambicus</i> (Tilapia) Grupo Experimental: Cultivo con <i>Myleus pacu</i> (Pacú)
Modelo	Función Lineal
Resultado	La hipótesis fue rechazada. El pez <i>M. pacu</i> (Pacú) no fue tan efectivo como el pez <i>O. mossambicus</i> (Tilapia) en la acuaponía para la producción de <i>L. sativas</i> (Lechuga romana).
Proyecciones Futuras	Realizar la investigación con otros tipos de peces como baya, camarones y Koy. Producir otras plantas como habichuelas, tomates, flores, etc. Darle promoción a la acuaponía como sistema que podría ayudar a superar una crisis alimentaria.

de talleres y mentoría, por parte de docentes y especialistas en distintas materias, tanto en la escuela como en ambientes universitarios (Tabla 2).

Visitaron e interactuaron así con expertos que les brindaron asesoría en diferentes ramas para conocer y aplicar los conocimientos a las distintas investigaciones. Los estudiantes también tuvieron la oportunidad de trabajar en laboratorios de microbiología logrando, por ejemplo, aproximar la cantidad de bacterias por colonia en una muestra de composta. Trabajaron así en equipo con maestros (de física, química, bellas artes y matemáticas), profesores universitarios (de biología, química, física, matemáticas y ciencias ambientales) y otros expertos que aportaron conocimientos y mentoría para las diferentes investigaciones.

En las actividades se utilizaron herramientas tecnológicas para registrar, analizar e interpretar datos. Se utilizaron sensores de pH y temperatura, y la calculadora gráfica TI - 84 Plus. La calculadora se utilizó para determinar el modelo matemático más apropiado que les permitiera organizar los resultados de sus

investigaciones de una forma precisa para analizarlos y realizar proyecciones futuras. El programado Microsoft Excel y Graph les permitió realizar distintas gráficas en las cuales podían presentar los datos y comparar entre estos integrando la matemática. Los estudiantes integraron así el conocimiento de estadística descriptiva e inferencial para entrar listas de datos, trazar diagramas de dispersión, hacer regresiones de funciones lineales, polinómicas, exponenciales y logarítmicas y para determinar los valores de los parámetros que permiten encontrar la curva que mejor se ajusta a un conjunto de datos.

Se utilizó el modelo matemático en el análisis de los datos para aceptar o rechazar sus hipótesis y hacer proyecciones futuras. La obtención de un modelo matemático permitió no sólo obtener una solución particular sino también servir de soporte para otras aplicaciones. Los estudiantes pudieron así aplicar los modelos matemáticos en las investigaciones científicas con el fin de obtener resultados más confiables y someter a prueba sus hipótesis. Así también analizaron datos con el coeficiente de correlación para determinar

TABLA 2. Adiestramientos ofrecidos por expertos a los estudiantes del Proyecto Vida.

Tipo de Adiestramiento	Tema	Recurso	Organización
Taller de capacitación	Vermi Composta y Composta	Agrónomo David Matos	Extensión Agrícola, Orocovis
	Hidroponía	Frankie Díaz Berríos	Departamento Educación
	Acuoponía	Dr. Michael Macgee Jorge Casas y Pedro Casas	
Mentoría	Proyectos de Investigación Científica	Dr. Juan A. Negrón	Universidad Interamericana, Barranquitas

la correlación entre variables, por ejemplo, de tiempo vs crecimiento, tiempo versus población, tiempo versus volumen, tiempo versus pH. Ello permitió determinar qué tan fuertemente están correlacionadas dichas variables y como se reflejan en situaciones de la vida real. Los estudiantes, al finalizar el proyecto, realizaron presentaciones orales acerca de las actividades realizadas, del resultado de sus investigaciones y de las proyecciones futuras para éstas.

Componente de Investigación

Los participantes del estudio, según indicado antes, fueron 21 estudiantes que tomaron el curso de Pre – cálculo del nivel secundario. La muestra fue por conveniencia, como es característico en la investigación acción, ya que es un grupo que enseñaba el maestro-investigador autor de este artículo.

El diseño de investigación utilizado fue mixto, ya que incluyó elementos cuantitativos y cualitativos. La aplicación de una prueba de aprovechamiento administrada antes y después de la implantación de las actividades del proyecto fue el elemento cuantitativo. Dicha prueba de aprovechamiento fue creada por el maestro considerando normativas y documentos del Departamento de Educación, específicamente las expectativas del estándar de funciones antes presentadas. La prueba consistió de 10 ítems, que incluye preguntas de selección múltiple y de discusión, con un valor total de 25 puntos. Tenía cinco ítems de selección de alternativa múltiple, cada uno con un valor de 1 punto y 5 ítems de discusión (problemas verbales), cada uno con un valor de 4 puntos.

El elemento cualitativo lo constituyó una entrevista utilizando un cuestionario con ocho preguntas abiertas. El cuestionario fue enviado electrónicamente a seis estudiantes, que participaron en cinco actividades distintas del Proyecto, dos años después de completado

el mismo. Cinco de los estudiantes contestaron el cuestionario.

Para analizar los datos de la prueba, y determinar si hubo un incremento en el aprovechamiento académico de los estudiantes en la investigación acción, se utilizó la prueba de $t_{student}$ para muestras dependientes (se requirió un nivel de significación de $p < 0.05$). Para satisfacer los requisitos del análisis de , se verificó la normalidad de los datos utilizando la Prueba de Ryan – Joiner (Minitab 2014; Snedecor y Cochran 1989).

El análisis de los datos de los cuestionarios electrónicos completados se llevó a cabo identificando siete categorías. Dichas categorías fueron: aprendizaje de modelos matemáticos; elementos de los procesos de enseñanza-aprendizaje; aspectos positivos de su participación en el proyecto; aplicación a la vida diaria; impacto en sus estudios universitarios; seguridad alimentaria en PR; alternativas a considerar para la seguridad alimentaria.

RESULTADOS

Aprendizaje de Modelos Matemáticos

La primera pregunta de investigación que se deseaba contestar en el estudio fue cómo afectó el aprendizaje de modelos matemáticos la participación de estudiantes de escuela secundaria en un proyecto agro-escolar, asociado a la seguridad alimentaria de Puerto Rico, en que se insertó la modelación matemática. Los análisis estadísticos realizados a la prueba de aprovechamiento que se administró antes y después de la participación de los estudiantes en el proyecto nos permitieron contestar afirmativamente esta pregunta.

Los resultados de la Prueba de Ryan-Joiner (RJ = 0.99, $p > .10$) permitieron aseverar la

normalidad de los datos. La prueba estadística inferencial utilizada indicó que había diferencia entre la media de la preprueba y la media de la posprueba después del tratamiento (Tabla 3). Dichos resultados mostraron que hubo un incremento significativo entre ambas medidas ($t = 22.90$, $p = .00$). A partir de este resultado podemos concluir que hubo un aumento significativo en el aprovechamiento de los estudiantes en los conceptos asociados a modelos matemáticos ya que la media de la preprueba fue significativamente menor que la media de la posprueba. Es decir, el tratamiento mediante las actividades de aprendizaje e investigaciones de campo del Proyecto Agro-STEM Vida hizo una diferencia significativa en el aprendizaje de los estudiantes.

Para examinar con más detalle estos resultados presentamos una gráfica que ilustra las comparaciones en puntuaciones de cada estudiante en la pre y pos prueba (Fig. 1). Los incrementos individuales entre las medidas pos y pre oscilaron entre 9 y 15 puntos, lo que indica que todos los estudiantes mostraron algún aumento en su aprendizaje.

Datos adicionales muestran las diferencias en respuestas correctas de los estudiantes en los ítems individuales de la prueba en ambas administraciones (Tabla 4). Indican, por tanto, el cambio en el número de los estudiantes

que mostraron conocimiento correcto en dichos ítems entre administraciones. El mayor aprendizaje se observó en el ítem #10 ya que ningún estudiante lo contestó correctamente en la preprueba y luego si lo hicieron 21 estudiantes en la posprueba. Por otro lado, hubo un ítem en que no hubo cambio en el número de estudiantes que lo contestó correctamente (#3) ya que 20 de 21 estudiantes lo contestó correctamente en ambas ocasiones, aun antes de comenzar a realizar el proyecto; ello indica que el ítem resulto muy fácil para casi la totalidad de la muestra. Por otro lado, se pueden identificar ítems cuya dificultad resultó adecuada para evaluar mejoramiento en aprendizaje ya que no fueron contestados correctamente por ningún estudiante en la preprueba, pero si un número considerable en la posprueba (ítems 7, 8 y 10).

Una de las categorías creadas para analizar la información de los cuestionarios fue la definición dada respecto al concepto modelos matemáticos. Las definiciones más relevantes que dieron los estudiantes encuestados acerca de dicho concepto fueron: “Los modelos matemáticos son modelos que se basan en el uso de dos parámetros o variables expresados mediante fórmulas matemáticas con el fin de expresar una relación”. “Modelos matemáticos para mi significa unas herramientas matemáticas de las cuales uno se deja llevar para hacer un pronóstico u observación”. “Modelos

TABLA 3. Prueba t pareada para la comparación entre los totales de la Pre Prueba y Post Prueba.

	N	Media	Desviación Estándar	Error Estándar
Total Post Prueba	20	15.3	1.9	0.4
Total Pre Prueba	20	4.0	1.5	0.3
Diferencia	20	11.3	2.2	0.5

Resultado Prueba t para diferencia entre medias: Valor de $t = 22.90$; Valor de $p = 0.000$

FIGURA 1. Puntuación total de cada estudiante en la Pre y Post Prueba.

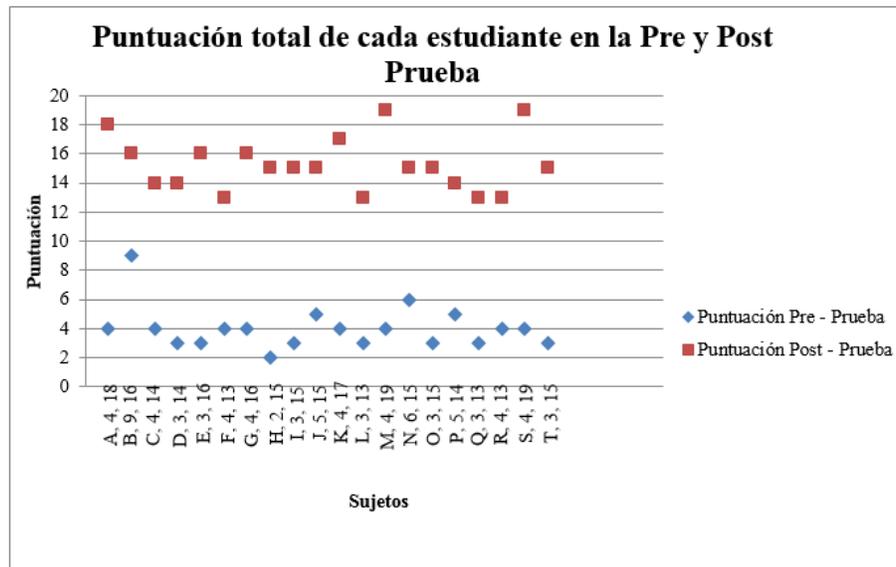


TABLA 4. Comparación de cantidad de estudiantes que contestaron correctamente los ítems de la pre prueba y pos prueba.

Descripción del Ítem	Ítem	Núm. Estudiantes	
		Pre Prueba	Pos Prueba
Analizar un gráfico e identificar la función del modelo	1	17	19
Identificar entre cuatro tablas la que contiene datos de modelo de función exponencial	2	19	20
Identificar modelo de crecimiento de bacterias como función de tiempo	3	20	20
Estimar cantidad de bacterias en composta al cabo de 24 horas	4	3	10
Identificar y explicar modelo que mejor describe relación tiempo vs. población lombrices dado % crecimiento anual y datos en tabla	5	1	3
Identificar tipo de correlación en diagrama dispersión para relación actitud hacia ambiente y uso agua embotellada	6	12	17
Estimar valor a que se aproxima población de peces de pequeño estanque cuando t	7	0	11
Encontrar modelo apropiado para datos en tabla y explicar cómo éste predice cambio en población de peces con el tiempo	8	0	6
Trazar gráfica de dispersión de datos en tabla acerca de crecimiento poblacional mundial, indicar modelo apropiado y justificar respuesta	9	8	21
Identificar función modelo crecimiento poblacional y predecir población mundial para año 2020	10	0	21

matemáticos son herramientas que facilitan las investigaciones que se estén realizando. Mediante los modelos, se pueden realizar distintas operaciones o funciones que ayudan en el establecimiento detallado de la información. Con estas funciones se puede conocer el posible cambio o posible curso de lo que se está investigando. Es una de las herramientas más provechosas de la matemática”.

Estas definiciones concuerdan con las definiciones encontradas en la revisión de literatura acerca de modelos matemáticas. Según establecen Hein y Salett Biembengut (2006), obtener un modelo matemático es traducir una situación o problema de la vida real a un lenguaje matemático. Un modelo matemático de una situación o problema de la vida real es una fórmula, o un conjunto de símbolos y relaciones matemáticas, que traducen de alguna forma el problema que se investiga de la vida real.

Se concluye que los estudiantes comprendieron que el modelo matemático les permite obtener una solución al problema que se está investigando permitiéndoles hacer de una manera más práctica proyecciones futuras analizando datos a través de las variables bajo estudio y servirles de soporte para otras aplicaciones o cuestionamientos que se vayan a estudiar en otras posibles investigaciones.

Interés en la Investigación y las Carreras STEM

La segunda pregunta de investigación planteada aborda el cómo contribuyó la participación en el Proyecto Agro Escolar Vida, en que se integra la investigación científica, en el interés del estudiantado por este tipo de investigación. Uno de los elementos centrales de este trabajo fue, por tanto, crear condiciones para que los alumnos aprendieran a investigar, elaborando modelos matemáticos aplicados a alguna otra área del conocimiento.

Los estudiantes ofrecieron contestaciones en el cuestionario que muestran como entendieron que los modelos matemáticos contribuyen a la investigación científica: “Comprender como el crecimiento de una población se observa y analiza mediante estudios de modelos matemáticos como son las funciones exponenciales”. El modelo exponencial les permitió, por tanto, entender cómo se puede analizar un crecimiento poblacional constante en una investigación. “Encontrar un modelo matemático para lograr aproximar la cantidad de bacterias por colonia en una muestra de composta utilizando la tecnología.” “Construcción de diferentes gráficas en las cuales se podían presentar los distintos datos y establecer comparaciones entre estos.” Los estudiantes entendieron que la utilización de un modelo matemático permite organizar los resultados de una investigación científica de una forma más precisa y exacta. “Aprender más sobre el uso de gráficas e interpretarlas, porque de acuerdo a los datos obtenidos en las investigaciones científicas se realizaron tablas y gráficas para organizar y analizar los datos. Integrar la matemática con el programa Excel.” Lo aprendido en el desarrollo del proyecto les permitió a los estudiantes conocer cómo realizar investigaciones científicas aplicando los modelos matemáticos con el fin de obtener resultados confiables.

Las experiencias en el Proyecto Vida también despertaron considerablemente el interés en el estudiantado por los procesos de la investigación científica: “El participar en el Proyecto Escolar Vida nos trajo muchas enseñanzas como fueron desarrollar estudios investigativos, presentaciones orales, defensa de investigación, visitas a expertos en las investigaciones y el trabajo en equipo.” “Lo más que me gusto en la investigación fue el aplicar las matemáticas y modelos de estos a una investigación científica con mucho interés ecológico y comercial.” “Los elementos que más me ayudaron a comprender los modelos

matemáticos fueron las aplicaciones de estos en las investigaciones científicas... ya que se analizaban los datos, se aplicaban y se determinaban los posibles errores.” “Mi mayor conocimiento matemático fue por medio del modelo que fue utilizado en mi experimentación (modelo exponencial) ya que este me permitió entender cómo se puede analizar un crecimiento poblacional constante.” “El aprendizaje más significativo para mí fue como lograr aproximar la cantidad de bacterias por colonia en una muestra de composta.” La realización de investigaciones científica, por tanto, sirvió de medio para el aprendizaje de modelos matemáticos, pero también para que los estudiantes conocieran y apreciaran los diferentes componentes de los procesos de investigación científica.

Evidencia aún más concluyente del interés que se despertó por la investigación en el estudiantado lo fue que 18 estudiantes del

curso participaron en distintos foros de ferias científicas exponiendo y defendiendo las investigaciones científicas que realizaron en el Proyecto Vida. Dichos estudiantes presentaron diez proyectos de los cuales nueve obtuvieron primeros y segundos lugares en el Distrito Escolar, lo que les cualificó para competir en el próximo nivel. De éstos seis fueron premiados en la Región Educativa de Bayamón (Tabla 5). Esta participación implicó la integración de las matemáticas con otras áreas de conocimiento para aplicar el contenido científico y matemático buscando soluciones a situaciones o problemas de la vida real. Además, les ayudó a desarrollar sus destrezas básicas de investigación y presentación de forma independiente.

La participación de los estudiantes en el Proyecto Vida también influyó en la selección de carreras asociadas a disciplinas STEM para sus estudios universitarios. Algunos se encuentran cursando estudios relacionados a

TABLA 5. Investigaciones que Obtuvieron Premios en la Feria Científica de Nivel Regional.

Nombre de la Investigación	Premio Obtenido	Actividad del Proyecto Vida¹
Efecto del material orgánico en la reproducción exponencial de las lombrices <i>Perionyx Excavatus</i>	Primer Lugar	Actividad # 5
Costo efectividad del Humus		Actividad # 10
El viento fuente de energía del futuro	Segundo Lugar	Actividad # 9
Optimizar por medio de acuaponía el crecimiento de las Lactucas sativas utilizando los peces <i>Myleus Pacu</i> y <i>Oreochromis mossambicus</i>	Tercer Lugar	Actividad #11
Efecto de la materia orgánica en la cantidad de humus producido por la lombriz <i>Perionyx excavatus</i> (Indian Blues)		Actividad # 6
Fertilizante orgánico en hidropónico de Letucas Sativas		Actividad # 4

¹Véase descripción de los proyectos en la Tabla 1.

sus proyectos, específicamente, microbiología y microbiología industrial, y otros escogieron proseguir carreras universitarias en ciencias naturales, ingeniería civil y enfermería. Dos informaron que trabajaban mientras cursaban sus estudios universitarios, específicamente en un laboratorio de microbiología y en un instituto de biotecnología sustentable. La influencia del Proyecto en la selección de carreras y áreas de estudio se evidenció en aseveraciones como: “Este proyecto influyó mucho ya que gracias al proyecto estoy estudiando microbiología. Mi trabajo en el proyecto fue trabajar en el área de los microorganismos lo cual me di cuenta que realmente me gustaba al empezar a desarrollar mi rol en el campo de trabajo del proyecto.” “Mi interés por estudiar ciencias existía desde antes que participara en el proyecto, pero el vivir esta experiencia despertó en mí el interés de tomar clases dentro de mi bachillerato relacionada a las plantas y a la nutrición específicamente.” “[El Proyecto] me permitió conocer personas expertas en diversas ramas que lograron tener mis pasiones por la ciencia y ser estudiante investigadora a nivel post secundario.”

Los estudiantes también plantearon que el proyecto escolar incrementó sus conocimientos y aprovechamiento académico lo que les facilitó la transición a la vida universitaria. Indicaron, por ejemplo: “El realizar una investigación científica me ayudó mucho en el área de trabajo y en mis estudios, ya que me permitió ampliar mis conocimientos en las ciencias, desempeñarme en presentaciones o trabajos profesionales.” “A nivel universitario estoy estudiando enfermería. No es una profesión con muchos fundamentos matemáticos, pero... el conocimiento lo he podido integrar a una de las clases... observamos distintas gráficas que presentan variables relacionadas a la profesión.” “Esto me ha ayudado mucho porque mi bachillerato se basa en modelos matemáticos ya que estudio a diario con probabilidades y pronósticos de microorganismos.” “Puedo decir que el Proyecto Agro-Escolar Vida tenía

objetivos para mejorar la alimentación. En la salud, la alimentación es una de las principales necesidades de la vida; por esta parte el Proyecto... influye y se relaciona con mi profesión [la enfermería].”

El Proyecto Vida, por consiguiente, ha tenido una influencia positiva en los estudiantes participantes tanto en su interés por la investigación científica como en la aplicación de modelos matemáticos en ella. La selección de carreras y los estudios que ello conlleva también ha sido beneficiada por la experiencia acumulada por los estudiantes en dicho proyecto.

Concienciación Respecto a la Seguridad Alimentaria

La 3ª pregunta de investigación formulada fue cómo la participación en el proyecto, en que se desarrollaron alternativas preventivas e innovadoras para mitigar una crisis alimentaria, contribuyó a la concienciación del estudiantado acerca de la seguridad alimentaria. Mediante las actividades desarrolladas en el Proyecto Agro Escolar Vida los estudiantes aprendieron a crear su propia composta y producir materia orgánica, contribuyendo así al reciclaje de desperdicios sólidos, al mejoramiento de los ecosistemas y a la producción de alimentos de manera económica. Ello contribuyó a que el estudiantado se concienciase acerca del problema de seguridad alimentaria, especialmente en Puerto Rico: “La seguridad alimentaria en Puerto Rico ha llegado al punto de no ser [considerada] de gran importancia. Se ha permitido que la comunidad puertorriqueña no produzca sus propios alimentos y se les ha dado mayor oportunidad a los extranjeros de vender su alimento que al mismo agricultor puertorriqueño. Es lamentable que la comida consumida en el país no se produzca en nuestras tierras y lo cual es de mucho peligro si ha de ocurrir una crisis alimentaria.” “Respecto a la seguridad alimentara de Puerto Rico pienso

que no es estable. Es una situación que cada día se pone peor y las personas, a pesar de todo, no le prestan la atención necesaria.”

La contribución del proyecto a esta concienciación fue también explícitamente evidente en sus expresiones: “Lo más que me gustó de participar en este proyecto fue el tener la oportunidad de trabajar en el campo. Ya que adquirir nuevos conocimientos respecto a la manera de sobrevivir por cuenta propia. Aprendiendo a utilizar de manera correcta los recursos que la naturaleza nos brinda.” “Durante la realización del Proyecto Agro Escolar Vida, el elemento principal fue el proyecto como tal... [ya que] incitaba al estudiante a analizar y establecer objetivos con los cuales se podía mejorar problemas alimenticios, costo-efectividad, aumento de producción alimentaria en el país, etc.” “Lo aprendido durante la investigación lo he podido aplicar en... en el uso de materia orgánica u otros organismos para crear nuestra propia composta, al igual que el cuidado de éstos para una mejor seguridad alimentaria.”

Al analizar otras respuestas asociados a la seguridad alimentaria de Puerto Rico, encontramos que los estudiantes también ofrecieron alternativas para enfrentar la crisis alimentaria: “Pienso que los puertorriqueños debemos comenzar a cosechar nuestros propios alimentos y enseñarle a los niños desde grados primarios como sembrar y como utilizar los recursos de la naturaleza. De igual forma los adultos deben de dejar de construir y empezar a habilitar cuerdas de terreno para la siembra de diferentes alimentos ya que en nuestra isla por su clima podemos cosechar muchísimas cosas.” “Debemos comenzar a consumir más productos orgánicos, con menos químicos, debemos producir nuestro propio alimento y tener una dieta balanceada.” “Los puertorriqueños debemos unirnos, llevar el mensaje, dar el ejemplo y fomentar proyectos como estos; de esta manera las personas podrían aportar. Se

puede comenzar con algo pequeño, sin embargo, en un futuro podemos llegar a unos resultados mayores y prometedores. Solo debemos comenzar.” “Es por eso que debemos orientar a la comunidad y comenzar a producir nuestro propio alimento por los diferentes métodos como son acuicultura, agricultura e hidroponía. Al igual, que ver las diferentes opciones como son los techos verdes y la siembra en lugares pequeños. Esto permitiría comer de manera más saludable y evitar el hambre en una gran crisis.” “Los puertorriqueños debemos unirnos, llevar el mensaje, dar el ejemplo y fomentar proyectos como estos; de esta manera las personas podrían aportar. Se puede comenzar con algo pequeño, sin embargo, en un futuro podemos llegar a unos resultados mayores y prometedores. Solo debemos comenzar.”

Como podemos ver, los estudiantes consideran que se debe orientar a la comunidad sobre la seguridad alimentaria de Puerto Rico y educarlos para que comiencen a producir sus propios alimentos por diferentes métodos de agricultura convencional y no convencional. Estas prácticas agrícolas le permitirán una alimentación al ser humano más saludable y costo efectiva en términos económicos. A su vez, evitará el hambre en Puerto Rico si ocurre una crisis alimentaria en la isla producida por un bloqueo en importaciones de alimentos. El producir el ser humano su propio alimento permitirá que este pueda consumir más productos orgánicos, con menos químicos favoreciendo su salud alimentaria teniendo una dieta más balanceada. Cada individuo debe comenzar a educarse para cosechar sus propios alimentos, llevar el mensaje y dar el ejemplo enseñándoles a sus niños desde grado primarios como sembrar y como utilizar los recursos naturales para producir alimentos orgánicos. Los puertorriqueños deben limitar la industria de la construcción y deben comenzar a desarrollar cuerdas de terreno con fines agrícolas para la siembra de diferentes alimentos y actividades agropecuarias, ya que

nuestra isla cuenta con un clima favorable para la industria agrícola. Los puertorriqueños debemos aprovechar estas ventajas que nos ofrece nuestra geografía, el clima y utilizar los métodos de agricultura convencionales y no convencionales con más efectividad para producir nuestros propios alimentos. Esto nos ayudaría en generaciones futuras a no depender de las compañías extranjeras agrícolas que no promueven empleos y desarrollo económico en Puerto Rico.

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE

La integración de las disciplinas STEM, en la producción de productos agrícolas, que se realizó en las actividades de investigación del proyecto promovió que los estudiantes de nivel secundario participantes aumentaran su aprovechamiento académico. Ello se evidenció mediante el aumento significativo en el conocimiento de modelos matemáticos de los estudiantes participantes, ya que se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la posprueba, respecto a la preprueba. Pudimos, por tanto, comprobar el beneficio del Proyecto en el aprendizaje de un grupo de estudiantes de escuela superior respecto a la expectativa de modelar datos con diferentes modelos matemáticos de funciones.

El utilizar el ABP, por medio de estaciones agrícolas, tales como producción de composta, lombriz composta, huertos caseros, hidroponía y acuoponía, fue fundamental para insertar el modelaje matemático en una situación de la vida real que facilitó este aprendizaje. El maestro, desempeñando un papel de facilitador pudo observar las estrategias y las dificultades particulares que confrontaron los estudiantes para determinar un modelo matemático que mejor se ajustara a los datos obtenidos a través de sus investigaciones científicas. La toma de medidas realizada, por ejemplo, a la composta y a las plantas, durante las investigaciones

científicas ayudaron a los estudiantes a aprender acerca de los modelos matemáticos, ya que podían presentar y organizar los datos a través de gráficas. Además, aprendieron a encontrar fórmulas o ecuaciones matemáticas que permitieran probar conjeturas matemáticas.

Concluimos, por tanto, que los estudiantes que pasaron por experiencias basadas en el ABP y el modelaje matemático ampliaron sus conocimientos en matemáticas. Morán Moguel y Jiménez Espirú (2011) afirman que uno de los beneficios de los cursos basados en proyectos, en que se integran las disciplinas STEM, es que mejoran el aprendizaje y el rendimiento en matemáticas y ciencias. Recomendamos pues que los maestros utilicen estrategias educativas como las descritas para el aprendizaje de conceptos de dichas disciplinas.

El efecto en los estudios universitarios que propició el Proyecto Escolar Vida, foco de nuestra segunda pregunta de investigación, fue fomentar la motivación de los estudiantes para realizar estudios universitarios asociados a las disciplinas STEM, tales como biotecnología, microbiología, enfermería, ciencias naturales e ingeniería. Este resultado permite ver como las estrategias educativas empleadas pueden ayudar a vencer la renuencia por parte de la juventud de estudiar carreras de ciencias e ingeniería. Bosch et al. (2011) señala que la sociedad ha mostrado preocupación respecto a esta situación desde hace varias décadas.

El Proyecto Agro Escolar Vida viabilizó una transición más fácil a los estudiantes a sus estudios postsecundarios pues les permitió conocer diferentes profesores universitarios y especialistas o profesionales que les sirvieron de mentores colaborando con sus investigaciones científicas. Estos profesionales les brindaron mentoría académica y técnica en la elaboración de sus proyectos escolares. Por otra parte, los estudiantes participantes tuvieron una mayor relación con el profesor y abordaron temas

transversales a otras asignaturas, tal como señalan Velázquez y Figarella (2012). El ABP, por tanto, permitió a los estudiantes conectar el aprendizaje escolar con su realidad y a su vez les facilitó conocer las conexiones existentes entre diferentes disciplinas profesionales de nuestra sociedad. Ello les facilitó desarrollar sus talentos y potencialidades académicas en ciencias y matemáticas relacionadas a la investigación. Estos resultados concuerdan con lo indicado por el *West Virginia Department of Education* (2013) que establece que a través de las estrategias de ABP se logra motivar a los estudiantes a fijarse metas en carreras universitarias en el campo de STEM. A medida que se resuelven los problemas en diversas situaciones aplicadas, se desarrollan habilidades críticas para el éxito en su vida profesional. La labor realizada nos permitió también contestar

Nuestra tercera pregunta de investigación enfocaba el papel del Proyecto Agro - Escolar en fomentar la concienciación acerca de la seguridad alimentaria. La investigación acción realizada evidenció que dicha experiencia educativa permitió a los estudiantes concienciarse acerca de dicho problema y como desarrollar prevenciones comunes e innovadoras como el incremento de la agricultura orgánica para mitigar una crisis alimentaria. Acorde con ello, hicieron expresiones en las entrevistas que concuerdan con el reclamo de Parvez (2011) de promover la agricultura a través del aprendizaje de las disciplinas STEM para luchar contra las consecuencias del cambio climático que está afectando negativamente a la agricultura, y consecuentemente a la población mundial.

Se concluye, por tanto, que las actividades utilizando la estrategia educativa AGRO – STEM por medio de seis estaciones agrícolas, experiencias de aprendizaje que integran el uso de la tecnología y la integración de las tecnologías de la información y comunicación en pequeñas comunidades de aprendizaje motivan

a los estudiantes y despierta en ellos el interés por obtener conocimiento sobre modelización matemática por medio del descubrimiento. Mediante estrategias como estas podemos ser capaces los docentes de reconducir a un nuevo currículo y enfoque de enseñanza. La educación debe transformarse para responder a los nuevos requerimientos que permitan la comprensión, no solo de las disciplinas del currículo sino también de la investigación para desarrollar alternativas innovadoras de solución de problemas ambientales.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi mentora y editora la Dra. Milagros Bravo Vick (Catedrática Retirada de la Facultad de Educación y Profesora de Investigación de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras) por su ayuda y guía. A la Dra. Roxana Auccahuallpa Fernández por su mentoría. A la Dra. Michelle Borrero, Dra. Marta Fortis, Brenda Santiago, Pascua Padró e Hilda Morell del Centro de Investigación Educativa en Ciencias y Matemáticas (CSMER, por sus siglas en inglés y financiado por la Fundación Nacional de Ciencias – NSF #1038166) y del proyecto *Puerto Rico Master Math Teacher* (NSF - #0934820), por darme la oportunidad de participar en proyectos especiales de investigaciones científicas y matemáticas. A mi hermano Frankie Díaz Berríos por su colaboración capacitando a los estudiantes del curso de Pre-cálculo en talleres de capacitación de cultivos en hidroponía y confección de la estación experimental de composta y acuaponía y Ariel Aponte Jiménez. A mis compañeros Dr. Juan Negrón, Prof. José Pérez, Prof. Juan Núñez, Prof. Doymo Morales, Prof. Solymar Morales y Prof. María M. Santiago del Departamento de Ciencias y Tecnología de la Universidad Interamericana Recinto de Barranquitas, por colaborar como profesores mentores en contenido científico y matemático en las investigaciones científicas. Al agrónomo

David Matos (Agente de Extensión Agrícola de Orocovis), que colaboró capacitando a los estudiantes del curso de Pre-cálculo en talleres de capacitación de producción de composta y vermicomposta y al agrónomo Dalma Cartagena quien colaboró dando mentoría a estudiantes investigadores sobre confección y producción de composta. Al Dr. Michael Macgee y los hermanos Jorge Casas y Pedro Casas, por capacitar a estudiantes participantes del proyecto escolar en acuaponía. A los estudiantes del curso de pre-cálculo durante el año académico 2013 – 2014. A mis compañeras maestras de Ciencias de nivel superior de la Escuela Superior José Rojas Cortés (Carol Morales y Merlis Rodríguez) en la planificación, mentoría y revisión de los informes de investigaciones científicas y confección de triplicados de los estudiantes de Pre-cálculos a ser presentados en la Ferias Científicas del Distrito Escolar de Orocovis y Región de Bayamón en el año escolar 2013 – 2014. A mi compañera Master de Ciencias Jadira Aponte del Distrito Escolar de Orocovis por sus aportes en el desarrollo del Proyecto Escolar Vida de quien recibí mucha motivación y apoyo importante. A la Universidad de Puerto Rico Recinto de Río Piedras, por ser el centro de mis estudios en capacitación profesional de contenido matemático y científico. A la administración y facultad de la Escuela Superior José Rojas Cortés de Orocovis por apoyar y contribuir en la implementación del Proyecto Escolar Vida y como centro principal de la investigación acción “Aprendizaje Basado en Proyectos Agro Escolares: Estrategia Educativa para Aprender Modelos Matemáticos”. A los compañeros maestros, profesores, y amigos que cooperaron y contribuyeron en el inicio y culminación del proyecto escolar, especialmente a mis compañeros maestros de trabajo de la Escuela Superior José Rojas Cortés de Orocovis y compañeros profesores universitarios de la Universidad Interamericana, Recinto de Barranquitas.

REFERENCIAS

- Barnett, R.A., M. Ziegler, K. Byleen, y D. Sobecki. 2011. Precalculus. Séptima edición. McGraw-Hill, México.
- Bernstein, B. 1998. Códigos e investigación. Páginas 131-140 en Ediciones Morata. Pedagogía, control simbólico e identidad. México.
- Bosch, H.E., M.A. Di Blasi, M.E. Pelem, M.S. Bergero, L. Carvajal, y N.S. Geromini. 2011. Nuevo Paradigma Pedagógico para la Enseñanza de Ciencias y Matemáticas. Avances en Ciencias e Ingeniería 2(3): 131-138.
- Committee on Integrated STEM Education. 2014. The National Academies Press. <http://www.nap.edu/read/18612/chapter/1>
- Departamento de Educación. 2014. Estándares de Contenido y Expectativas de Grado: Programa de Matemáticas. http://www.de.gobierno.pr/files/estandares/Estandares_de_matematicas_2014.pdf
- Díaz Barriga, A.R. 2009. El docente y los programas escolares. Lo institucional y lo didáctico. IISUE, México.
- Fernández Martínez M., J.N. García Sánchez, A. de Caso Fuertes, R. Fidalgo Redondo y O. Arias Gundín. 2006. El aprendizaje basado en problemas: revisión de estudios empíricos internacionales. Revista Educación 341: 397-418.
- Gordillo de Anda, G. 2004. Trends and challenges in latin american and caribbean agriculture, forestry and fisheries. http://www.caricom.org/jsp/community/donor_conference_agriculture/cbean_ag.pdf
- Hein, N. y M. Salett Biembengut. 2006. Modelaje Matemático como Método de Investigación en Clases de Matemáticas. www.cientec.or.cr/matematica/pdf/P-2-Hein.pdf

- Hernández Sampieri, R., C. Fernández Collado, y P. Baptista Lucio. 2003. Metodología de la Investigación. Mc Graw - Hill Interamericana Editores, S.A.DE, México.
- Honey, M, G. Pearson y H. Schweingruber. 2009. STEM Integration in K – 12 Education. <http://www.middleweb.com/wp-content/uploads/2015/01/STEM-Integration-in-K12-Education.pdf>
- Mi Puerto Rico Verde. 2014. Mi Puerto Rico Verde. <http://www.miprv.com/>
- Morán Moguel, C. y E. Jiménez Espirú. 2011. La Educación e ingeniería para niños y jóvenes (STEM K - 12). http://www.ai.org.ma/ai/images/sitio/edo-delarte/2011/4_la_educacion_en_ingenieria_para_ni_os_y_jovenes_stem_k_12.pdf
- Muñoz Cano, J.M. y T. Maldonado Salazar. 2011. Aprendizaje con base en proyectos para desarrollar capacidades de problematización en educación superior. [http://www.unidad094.upn.mx/m-sitios/academicos/teresita/articulos/aprendizaje-base-proyectos-capacidades-munoz\[2\].pdf](http://www.unidad094.upn.mx/m-sitios/academicos/teresita/articulos/aprendizaje-base-proyectos-capacidades-munoz[2].pdf)
- Parvez, S. 2011. Govt moves to stem agro brain-drain. <http://www.thedailystar.net/news-detail-182363>
- Rakocy, J. 1999. The status of aquaponics, part 1. Aquaculture Magazine 25: 83-88.
- Sánchez, M. 2013. Actualidad pedagógica. http://actualidadpedagogica.com/wp-content/uploads/estudios_apredizaje_basado_en_proyectos.pdf
- Snedecor, G.W. y W.G. Cochran. 1989. Statistical methods. Octava edición. Iowa State Univ. Press, Ames.
- Stewart, J., L. Redlin y S. Watson. 2012. Pre-cálculo matemáticas para el cálculo. Sexta edición. Cengage Learning Editores, S.A. de C.V., México.
- Vargas Hernández, J. 2012. Análisis de la práctica del docente universitario de precálculo. Estudio de casos en la enseñanza de las funciones exponenciales. gredos.usal.es/jspui/.../1/DDMCE_VargasHernandezJeannette_Tesis.pdf
- Velázquez, L.M. y F.V. Figarella. 2012. La problematización del aprendizaje. Isla Negra Editores, Puerto Rico.
- West Virginia Department of Education. 2013. Next Generation Mathematics Content Standards & Objectives for West Virginia Schools. http://www.cva.itesm.mx/biblioteca/pagina_con_formato_version_oct/chicagowebste.html

ORGANIZACIÓN Y REPRESENTACIÓN DE GRÁFICAS: PROYECTO BASURA CERO

Luis O. De Jesús Torres

¹Center for Science and Math Education Research

²Puerto Rico Department of Education

RESUMEN

Durante el desarrollo de un proceso de Investigación Acción en la sala de clases, el maestro evaluó la efectividad del Aprendizaje Basado en Problemas como estrategia instruccional para la discusión de los conceptos de organización de datos y construcción de gráficas. El Proyecto Basura Cero desarrollado por los estudiantes, consideró el problema del manejo de los desperdicios sólidos en la escuela. Durante las actividades realizadas, se recabaron datos reales sobre variables que describen el problema de los desperdicios sólidos, lo que permitió contextualizar la discusión de los conceptos estadísticos utilizando una situación real y de interés para la comunidad escolar. La diferencia entre los puntajes alcanzados por los estudiantes entre las pre y las pos pruebas ofrecidas ($t_{student} = 37.5$, $p = .000$), evidenció un incremento del conocimiento de los estudiantes sobre los conceptos discutidos.

Palabras clave: Organización y representación gráfica, Aprendizaje Basado en Proyectos, desperdicios sólidos.

ABSTRACT

During the development of an Action Research process in the classroom, the teacher evaluated the effectiveness of Problem Based Learning as an instructional strategy for discussing the concepts of data organization and graphing. The Zero Waste Project developed by the students, deal with the problem of solid waste management at their school. The students collected real data on variables that describe the problem of solid waste, which allowed them to contextualize the discussion of statistical concepts using a real situation of interest for the school community. The difference between the student's scores between the pre- and post- tests ($t_{student} = 37.5$, $p = .000$), showed an increase in students' knowledge about the concepts discussed.

Keywords: Project Based Learning, solid waste, graphic representation and organization.

INTRODUCCIÓN

En Puerto Rico se ha observado un bajo aprovechamiento académico, por los estudiantes, en el aprendizaje de las matemáticas. En un estudio realizado por

The National Assessment of Educational Progress (NAEP 2012), considerando los estándares de matemáticas, se encontró que solamente el 4 por ciento de los estudiantes de octavo grado de Puerto Rico obtuvieron puntuaciones semejantes o superiores al nivel

establecido como Básico. En comparación, el 67 por ciento de los estudiantes de los Estados Unidos alcanzaron este nivel. Durante el año 2005 (NAEP 2017), la puntuación promedio de los estudiantes de octavo grado de Puerto Rico fue de 218, por debajo del promedio de los estudiantes de Estados Unidos. Estos datos reflejan una diferencia sustancial del aprovechamiento en el área de matemáticas de los estudiantes de Puerto Rico en comparación con los de Estados Unidos.

Durante mi experiencia como maestro de matemáticas, he podido constatar que los estudiantes muestran poco interés por esta disciplina. Manifestaciones como: ¿Para qué necesito saber esta fórmula? ¿Para qué quiero estimar una elipse? ¿De qué me sirve aprender estos conceptos para mi desempeño futuro?, son frecuentes entre mis estudiantes. Es posible que los problemas que se han confrontado con relación al desinterés y al aprovechamiento académico en las matemáticas, por parte de los estudiantes de Puerto Rico, se deba a la falta de estrategias de enseñanza efectivas utilizadas por los maestros, o tal vez, a la concientización de los estudiantes sobre la pertinencia del aprendizaje de estos conceptos.

Según establece la Teoría del Procesamiento de la Información (Gagné 1970), durante la planificación de la instrucción es necesario contar con una fundamentación teórica que considere la selección y orden de los contenidos, así como las estrategias de enseñanza efectivas (Gros 1997). De igual modo, Blank (1997), Bottoms y Webb (1998) y Reyes (1998), señalan que los estudiantes mejoran su aprovechamiento y habilidades en esta disciplina, cuando se comprometen con el desarrollo de proyectos estimulantes. Estos autores reconocen que, durante este proceso, los estudiantes utilizan y desarrollan habilidades cognitivas de orden superior, en lugar de memorizar datos en contextos aislados que no guardan relación con el mundo

real. Según se establece en los *Principios y Estándares para las Matemáticas Escolares* (NCTM 2000), los programas de instrucción en matemáticas deben enfatizar en el uso de representaciones gráficas para fomentar la comprensión de las matemáticas. Como se establece en los estándares mencionados, los estudiantes deben alcanzar las destrezas en el uso de representaciones gráficas para organizar, memorizar y comunicar ideas matemáticas, y para desarrollar un repertorio de representaciones matemáticas que puedan utilizar de forma útil, flexible y apropiada para representar e interpretar fenómenos físicos y sociales. Por otra parte, Zambrano (2011) señala que la representación gráfica debe preceder a la discusión de otros conceptos, ya que esta técnica permite la exploración de las tendencias en los datos y seleccionar el procedimiento analítico más conveniente a utilizar en etapas posteriores. La organización y la representación gráfica son destrezas importantes, ya que proporcionan significación a los datos. El proverbio de que “una imagen vale más que mil palabras” resume la importancia de la representación gráfica. Durante el análisis de un gran volumen de datos, para explicar las tendencias e interpretación de los mismos con relación a un fenómeno en estudio, resulta más didáctica una imagen visual que otras técnicas para comunicar los resultados.

Durante los últimos años, la planificación de actividades instruccionales utilizando la estrategia de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) ha tenido gran desarrollo y gozado de gran popularidad entre los educadores (Krauss y Boss 2013). Como señala Galeana (2006), durante la implementación de una actividad instruccional sustentada en la estrategia de ABP, los estudiantes desarrollan habilidades y competencias (colaboración, planificación de proyectos, comunicación, toma de decisiones y manejo del tiempo), aumentan la motivación y la autoestima, y se promueve la integración entre el aprendizaje, la escuela

y la realidad. Así mismo, este autor reconoce que la estrategia de ABP desarrolla en los estudiantes: habilidades de colaboración para construir conocimiento, destrezas para la solución de problemas, una integración de disciplinas, la consideración de diferentes enfoques y estilos en la solución de problemas y propicia el uso de la tecnología. Asimismo, Caiseda y Dávila (2006) favorecen la estrategia de ABP y recomiendan que el contexto en que se desarrolle debe ser una situación real, de interés para la comunidad y que involucre a los estudiantes en un aprendizaje significativo. El proyecto puede ser definido por el estudiante o por la facultad. Durante el desarrollo del mismo, los participantes, colaborando en pequeños grupos, afinan las preguntas, diseñan y planifican las actividades, las llevan a cabo, llegan a resultados significativos y diseminan sus hallazgos en interés de la comunidad de aprendizaje y de la sociedad.

METODOLOGÍA

Tomando en cuenta las lo discutido anteriormente, se llevó a cabo el “Proyecto Escolar Basura Cero”. Para la selección de los contenidos (conceptos) que se discutirán en las actividades se tomaron en cuenta los estándares de contenido de matemáticas establecidos por el Departamento de Educación de Puerto Rico (Tabla 1).

El diseño instruccional consideró los objetivos siguientes: desarrollar una actividad instruccional para discutir los conceptos de organización y representación de gráficas utilizando la estrategia de ABP sustentada en un problema de manejo y conservación ambiental (reciclaje de desperdicios sólidos), y establecer si la estrategia de aprendizaje seleccionada permite incrementar el conocimiento de los estudiantes sobre los conceptos anteriormente mencionados.

El Proyecto Basura Cero se desarrolló entre los meses de febrero y marzo del 2014. Durante el desarrollo de la actividad instruccional sustentada en el ABP, el maestro llevó a cabo un proceso de Investigación Acción para obtener y analizar información pertinente para el mejoramiento de su práctica docente. Los participantes consistieron en los estudiantes de un curso de matemáticas del séptimo grado de una Escuela de la Comunidad de Guayama, Puerto Rico. El profesor seleccionó entre los estudiantes que se ofrecieron voluntariamente para participar en el estudio, un grupo de 25 estudiantes (hembras y varones), entre las edades de 11 y 12 años (Patton 1980).

Intervención Educativa y Descripción de las Actividades Desarrolladas

Para el desarrollo de las actividades curriculares sustentadas en la estrategia de ABP se definieron tres fases o etapas para planificar y realizar un proyecto de esta naturaleza: diseño y planificación, producción y ejecución y evaluación y divulgación.

Fase I-Etapa Inicial (Diseño y Planificación)

Se administró una preprueba (Apéndice 1) para establecer el conocimiento previo de los estudiantes sobre los conceptos de organización y representación de gráficas. Durante esta primera etapa del proyecto los estudiantes observaron varios videos relacionados con el tema de la manipulación de los desperdicios sólidos y la contaminación ambiental. A continuación, participaron en una conferencia ofrecida por expertos en la materia sobre la problemática de la basura en Puerto Rico y sobre el problema del uso y reciclaje de las botellas plásticas de agua.

Como resultado de esta primera etapa, los estudiantes y el maestro desarrollaron la técnica de torbellino de ideas (Eumed. Net 2017) sobre los temas tratados en los

TABLA 1. Estándar y expectativas de contenido de matemáticas del Departamento de Educación de Puerto Rico considerados durante el diseño de las actividades curriculares.

Estándar 5. Análisis de Datos y Probabilidad (AP)	Expectativa (Estándar, Nombre del Estándar y/o Definición, Grado, Expectativa y Número de la Expectativa)
El estudiante es capaz de utilizar diferentes métodos de recopilar, organizar, interpretar y presentar datos para hacer inferencias y conclusiones.	<p>E.RD.7.16.3-Identifica, selecciona, crea y utiliza varias formas de representar conjuntos de datos.</p> <p>E.AD.7.17.2-Describe la distribución de cada atributo separadamente utilizando las gráficas apropiadas. Destrezas: Construir e interpretar tablas y gráficas. Hallar moda, media, mediana. Representa, interpreta y compara gráficas.</p> <p>E.AD.7.17.5-Describe la relación entre dos variables y los efectos de los extremos en las relaciones observadas.</p>

videos y las conferencias con el objetivo de discutir y proponer posibles soluciones a llevar a cabo para reducir la generación de basura e implementar el reciclaje de la misma, especialmente el consumo de agua en botellas plásticas en la escuela.

Fase II-Etapa de Desarrollo (Producción y Ejecución)

- Durante esta etapa los estudiantes desarrollaron e implementaron un Proyecto de Reciclaje. En el mismo se consideraron las siguientes actividades:
- Divulgación de información en la comunidad escolar sobre la importancia del reciclaje.
- Desarrollar acciones concretas de reciclaje: búsqueda y uso de recipientes, recogida diaria, clasificación de los desperdicios sólidos en categorías y

ubicación de éstos en recipientes al finalizar la jornada.

- Obtener información específica sobre la frecuencia diaria, durante dos semanas, del uso de botellas plásticas de agua en la escuela.
- Establecer las cantidades de desperdicios sólidos según las categorías.
- Establecer comunicación con la Oficina de Reciclaje del pueblo de Guayama para el recogido de los desperdicios sólidos.

Como resultado de estas actividades los estudiantes obtuvieron información sobre el tipo de basura que podía ser objeto de reciclaje en la escuela. En el caso particular de la incidencia de botellas de agua en la escuela, los datos fueron utilizados para construir gráficas de frecuencia, tablas y estimar las medidas de tendencia central. El maestro y los estudiantes

discutieron los conceptos relacionados con la organización de datos y la construcción de gráficas utilizando como ejemplo los datos reales obtenidos por los estudiantes.

Fase III-Etapa Final (Evaluación y Divulgación)

Como parte de esta etapa, los estudiantes recibieron instrucciones del maestro para llevar a cabo un diario reflexivo. De esta forma, los estudiantes pudieron reflexionar y escribir sobre el proceso de aprendizaje desarrollado durante las tres etapas del proyecto. Se consideró para la evaluación del diario reflexivo, si el mismo presentaba evidencias sobre el aprendizaje y sobre la toma de conciencia de la importancia de la reducción del manejo de desperdicios sólidos en la comunidad. Además, se observó si durante la segunda y tercera etapas del proyecto, los estudiantes participantes continuaban llevando a cabo el proceso de reciclaje, es decir, si seguían depositando los desperdicios sólidos en los zafacones correspondientes, en particular, las botellas de agua. Se administró una posprueba para establecer si hubo un incremento del aprendizaje de los estudiantes sobre los conceptos de organización y representación de gráficas.

Como parte del proceso de Investigación Acción, el maestro utilizó diferentes estrategias para evaluar, durante el desarrollo del proyecto, la participación y desempeño de los estudiantes en las actividades programadas. De esta forma, se pudo obtener información sobre las dudas y las deficiencias presentadas por éstos con relación al aprendizaje y aplicación de los conceptos seleccionados con el objetivo de mejorar y transformar la práctica educativa, articulando durante el proceso de aprendizaje la investigación, la acción y la formación, a través de un problema real de la actividad cotidiana (Kemmis y McTaggart 1988).

Diseño del Instrumento y Análisis Estadísticos

Se elaboró una prueba de 5 preguntas para recabar información sobre el conocimiento que poseen los estudiantes sobre los conceptos seleccionados. A cada una de las preguntas se le asignó un valor de 5 puntos para un total de 25 puntos (Apéndice 1). Para la elaboración de la misma se tomaron en consideración los Estándares y Expectativas de Matemáticas establecidos por el Departamento de Educación de Puerto Rico para el nivel intermedio (Tabla 1). Una vez elaborada la prueba, la misma fue evaluada por un grupo de expertos en contenido del Proyecto AlaCiMa (Alianza para el Aprendizaje de las Ciencias y las Matemáticas, por sus siglas en español) de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras y por maestros de nivel intermedio y superior de matemáticas de escuelas públicas del Departamento de Educación de Puerto Rico.

El instrumento elaborado fue ofrecido como pre y pos prueba a los estudiantes al inicio y al final del proyecto. La diferencia entre ambos ofrecimientos fue de dos semanas. Se utilizó el Programa Minitab para el análisis estadístico de los datos. Para establecer el aprovechamiento de los estudiantes como resultado de la intervención educativa, se utilizó un test de t de Student para muestras dependientes considerando la media de las diferencias entre la pos y la pre prueba. Para satisfacer los supuestos de la prueba utilizada se estableció la normalidad de las diferencias entre los puntajes alcanzados por los estudiantes entre la pos y pre prueba utilizando la prueba de Ryan-Joiner.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La media de los puntajes obtenidos por los estudiantes en la preprueba fue de 5.76, lo que representa un porcentaje de aprovechamiento del 23.4 por ciento. A continuación, se

presentan los conceptos donde se observaron las principales deficiencias durante el análisis de los resultados de la preprueba:

- Interpretación de los valores y escalas representados en los ejes de las gráficas.
- Estimación de los estadísticos de tendencia central, confusión entre los conceptos de moda y mediana.
- Interpretación de los datos y de su representación gráfica, problemas para hacer inferencias a partir de los mismos.
- Establecer diferencias entre los diferentes tipos de gráficas.
- Ordenamiento de los valores en forma creciente, estimación de la mediana y de la media.
- Interpretación de la frecuencia.
- Interpretación del rango de los datos.

Una vez analizados los resultados de la preprueba, los estudiantes iniciaron las actividades correspondientes a las dos primeras etapas del proyecto. Los resultados obtenidos por los estudiantes con relación al registro del número de botellas de agua consumidos en la escuela durante las dos semanas consideradas en el proyecto se presentan en la Tabla 2. Los datos ordenados en forma creciente y los estadísticos de tendencia central estimados durante la discusión de los conceptos en la clase se presentan en la Tabla 3. Como se puede observar, el número de botellas de agua consumidas fue mayor en la primera semana. Sin embargo, la tendencia en el consumo durante la semana fue semejante en ambos casos; obteniéndose los menores conteos el primero y último día de la semana y el mayor conteo el tercer día de la semana.

La información obtenida por los estudiantes durante la segunda semana del proyecto, que se presenta en las dos tablas anteriores, fue utilizada para discutir los conceptos considerados en los objetivos de la investigación acción descritos al inicio del acápite de Metodología que corresponden a las Espectativas del Estándar 5 (Tabla 1). A partir de una situación real y de interés para la colectividad, los estudiantes pudieron utilizar datos reales, obtenidos por ellos mismos, para describir un fenómeno social asociado al manejo de desperdicios sólidos (botellas de agua) en el ámbito de su escuela. Los estudiantes estimaron las medidas de tendencia central (media, mediana y moda), el rango de los datos, construyeron diferentes tipos de gráficas e hicieron inferencias a partir de las mismas. Debe señalarse además que durante estas dos semanas, el consumo promedio de botellas de agua en la escuela disminuyó de 130 botellas diarias, durante la primera semana, a 98 durante la segunda semana (Tabla 3). Estos resultados permitieron conceptualizar la diferencia entre la media aritmética y los valores individuales de una variable utilizada para describir, a través de una muestra, un fenómeno cotidiano en el ámbito de la escuela.

Una vez finalizadas las dos primeras etapas del proyecto, se ofreció la posprueba. En la Tabla 4 se presentan los resultados de la comparación entre los puntajes alcanzados por los estudiantes en la preprueba y la posprueba. Los resultados de la prueba de Ryan-Joiner permitieron establecer que las diferencias individuales entre los puntajes de la pos y la pre pruebas se distribuyeron normalmente ($RJ = 0.9$, $p > .1$), lo que posibilitó utilizar la prueba de t de Student para muestras dependientes y establecer si hubo un incremento del aprovechamiento de los estudiantes como resultado de la intervención educativa. Como se refleja en

TABLA 2. Botellas plásticas de agua consumidas por la comunidad escolar.

Días	Primera Semana	Segunda Semana
Lunes	97	79
Martes	123	103
Miercoles	205	167
Jueves	154	100
Viernes	73	40
Total	652	489

TABLA 3. Datos estadísticos del consumo de botellas de agua por la comunidad escolar durante dos semanas (medidas de tendencia y rango).

Semanas	Forma Creciente	Media	Mediana	Moda	Rango
Primera Semana	73,97,123,154,205	130.4	123	No tiene	205-73=132
Segunda Semana	40,79,100,103,167	97.8	100	No tiene	167-40=127

TABLA 4. Resultados alcanzados por los estudiantes en la Pre y Pos pruebas. IC de 95% para la media de las diferencias: (13.532, 15.108). Prueba t para la media de las diferencias = 0 (vs. $\neq 0$): Valor $t = 37.51$, $p = .000$, $gl = 23$.

	N	Media	Desviación Estándar	Error Estándar de la Media
Total Pre-Prueba	25	5.76	1.56	0.31
Total Pos-Prueba	25	20.08	1.82	0.37
Diferencias	25	14.32	1.91	0.38

la Tabla 4, el puntaje promedio alcanzado por los estudiantes en la posprueba fue de 20.1 puntos, lo que representó un aprovechamiento del 80.3 por ciento. Este valor promedio representa un incremento de los puntajes alcanzados por los estudiantes en la posprueba de 14.2 puntos (56.9 por ciento) con relación a la preprueba. El valor del estadístico de *t* de Student fue de 37.5 ($p = .000$), lo que permite aseverar que hubo un incremento altamente significativo de los puntajes alcanzados por los estudiantes.

Durante el desarrollo de las actividades, el maestro pudo constatar un incremento del trabajo colaborativo, porque los estudiantes se ayudaban entre sí para realizar las tareas, conducta que no se manifestó regularmente en actividades anteriores al desarrollo del proyecto. Slavin (1983) señala que el aprendizaje cooperativo involucra un amplio y heterogéneo conjunto de métodos de instrucción estructurados en los que los estudiantes trabajan juntos, en grupos o equipos, en tareas generalmente académicas. También reconoce que, cuando se participa en grupos de trabajo, se observa que hay personas que se distinguen por las ideas que aportan y por las acciones que realizan en beneficio de la labor que debe desarrollar el grupo. Estas conductas, descritas por la literatura, fueron observadas también por el maestro durante el desarrollo del Proyecto Basura Cero.

Debe considerarse, además, que durante el proceso de Investigación Acción desarrollado por el maestro durante la implementación de las actividades correspondientes al Proyecto Basura Cero, la discusión llevada a cabo por el maestro, el desempeño de los estudiantes y las preguntas y las dudas que surgieron durante el desarrollo del mismo, permitieron recabar información valiosa para evaluar la estrategia educativa utilizada.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permitieron aseverar que hubo un incremento significativo del aprovechamiento académico de los estudiantes con relación al dominio de los conceptos relacionados con la organización de datos y la representación de gráficas, debido a la intervención educativa desarrollada a partir de la modalidad de ABP. La discusión de conceptos relacionados con la toma de datos, su organización e interpretación para describir un problema real de importancia ambiental e interés social, puede resultar útil como marco conceptual para el desarrollo del currículo. El maestro puede utilizar la Investigación Acción como un elemento enriquecedor en la evaluación de su práctica educativa y en el desarrollo de las actividades curriculares. Durante este proceso, el maestro pudo constatar que la discusión de los conceptos relacionados con la organización de datos y construcción de gráficas utilizando como estrategia instruccional el ABP, permitió desarrollar una conducta colaborativa y entusiasta entre los estudiantes, aspecto que no había observado durante el desarrollo de anteriores actividades instruccionales.

AGRADECIMIENTOS

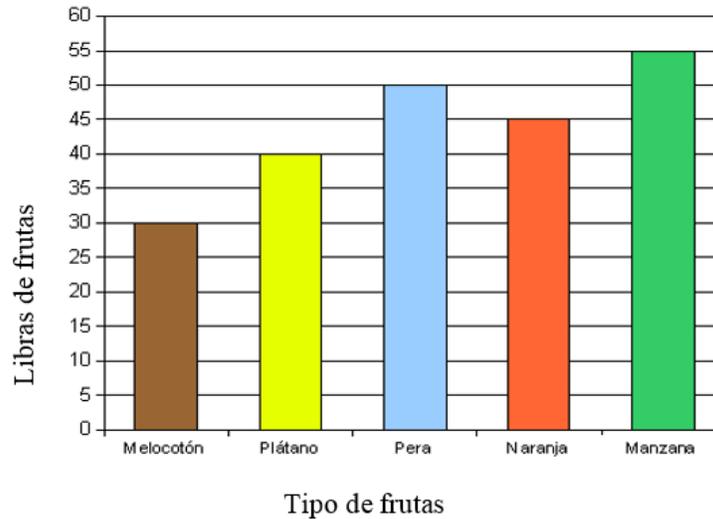
Agradezco a mis estudiantes por permitirme realizar esta investigación. A los proyectos *Center for Science and Math Education Research* (Financiado por la Fundación Nacional de Ciencias – NSF #1038166) y *Puerto Rico Master Math Teacher* (NSF - #0934820) de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras, en especial a su investigadora principal, la Dra. Michelle Borrero, a su coordinadora, la Dra. Marta Fortis, a la evaluadora, Dra. Milagros Bravo y al Dr. Jorge Rodríguez Lara por su insumo en el proceso de edición y análisis de datos. De igual manera a los asesores participantes en el proyecto escolar y a la comunidad escolar.

REFERENCIAS

- Blank, W. 1997. Authentic instruction. Páginas 15–21 en W.E. Blank y S. Harwell (eds.), Promising practices for connecting high school to the real world. University of South Florida, Tampa, Florida
- Bottoms, G., y L.D. Webb. 1998. Connecting the curriculum to “real life.” Breaking Ranks: Making it happen. Reston, VA: National Association of Secondary School Principals. (ERIC Document Reproduction Service No. ED434413)
- Caiseda, C., y E. Dávila. 2006. El aprendizaje basado en problemas y proyectos: Una estrategia de integración. Integración de las Ciencias y las Matemáticas a nivel intermedio. (1ra ed.). Universidad Interamericana Bayamón de Puerto Rico.
- Dickinson, K.P., S. Soukamneuth, H.C. Yu, M. Kimball, R. D’Amico, R. Perry, et al. 1998. Providing educational services in the Summer Youth Employment and Training Program [Technical assistance guide]. Washington, DC: U.S. Department of Labor, Office of Policy & Research. (ERIC Document Reproduction Service No. ED420756)
- Eumed-Net. 2017. La técnica del torbellino de ideas. <http://www.eumed.net/libros-gratis/2007c/333/La%20tecnica%20del%20torbellino%20de%20ideas.htm>.
- Galeana, L. 2006. Aprendizaje basado en proyectos: Universidad de Colima (revista CEUPROMED) Revista de investigación educativa.
- Gros, B. 1997. Diseños y programas educativos. Ariel, Barcelona.
- Kemmis and McTaggart. 1998. Cómo planificar la investigación-acción. Laertes, Barcelona.
- Krauss, J. y S.K. Boss 2013. Thinking through Project-Based Learning: Guiding deeper inquiry. Primera edición. ISBN-13: 978-1452202563.
- NAEP. 2012 National Assessment of Educational Progress. National Center For Education Statistics. <http://nces.ed.gov/nationsreportcard/>
- NAEP. 2017. National Assessment for Educational Progress. Center for Education Statistics. <https://nces.ed.gov/pubsearch/pubsinfo.asp?pubid=2007460>
- NCTM. 2008. Assessment standards for school mathematics. N.C.T.M. Reston. <http://nces.ed.gov/pubsearch/pubsinfo.asp?pubid=2008477>
- Patton, M. 1980. Qualitative evaluation and research method. Segunda edición. Sage Publications, Inc., United Kingdom.
- Puerto Rico, Department of Education. 2008. Guía operacional matemática 7. Revisada en el 2008. Programa de matemáticas. Matemáticas con rostro humano.
- Slavin, R.E. 1983. When does cooperative learning increase students achievement? Psychological Bulletin 49:429-455.
- Zambrano, A. 2011. Presentación gráficas de los datos. webdelprofesor.ula

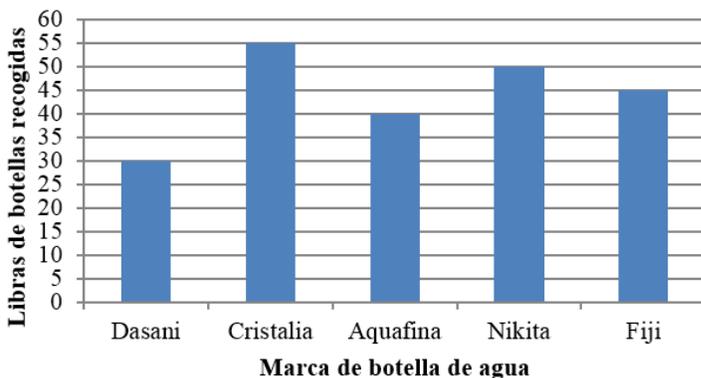
APÉNDICE 1. Prueba: Organización y representación de datos.

I. En la plaza de mercado del pueblo de Guayama los agricultores están realizando una composta. Entre todos se pusieron de acuerdo en recoger cada semana el material orgánico. La siguiente gráfica representa la cantidad en libras de frutas depositadas en un mes por los agricultores.



- ¿Cuántas libras de peras se han depositado en la composta? ¿y de manzanas?
- ¿Cuál es la fruta que menos se deposita? ¿Cuál es la moda?
- ¿Cuál es la diferencia entre las libras de peras y plátanos depositados en la composta?

II. El siguiente gráfico muestra la cantidad en libras de botellas de cinco marcas de agua, recogidos por voluntarios durante la campaña ambiental “Protegiendo costas y playas de Puerto Rico”. Explica si las variables; marca de agua versus libras de botellas recogidas, se relacionan con el costo de la botella de agua. Justifica tu respuesta.



Marca de agua	Costo por botella
Dasani	\$1.00
Cristalia	\$0.75
Aquafina	\$1.00
Nikita	\$0.50
Fiji	\$2.00

APÉNDICE 1. Prueba: Organización y representación de datos. (continuación).

III. Para hacer un proyecto sobre el medio ambiente, unos estudiantes buscaron información sobre el tiempo de descomposición de varios tipos de basura generado en sus casas. Construyeron la siguiente tabla de datos¹:

Tipo de basura	Tiempos de descomposición
Piel de plátano	1 – 3 años
Piel de naranja	1 – 3 años
Cajas de cartón	0- 5 años
Chicles	20 – 25 años
Periódicos	Unos pocos días
Vasos de plástico	Más de 100 años

Da una razón de por qué NO resulta adecuado un diagrama de barras para representar estos datos.

IV. En la escuela de Carlos, su maestro de matemáticas les hace exámenes cuya puntuación es de 0 al 100. Carlos tiene una media de 60 puntos en sus primeros cuatro exámenes. En el quinto examen sacó 80 puntos. ¿Cuál es la media de las notas de Carlos en la clase de matemáticas tras los cinco exámenes?

V. La compañía de reciclaje de Guayama realiza ocho viajes al día para completar su ruta. Los siguientes datos muestran las distancias de cada viaje: 14 km, 6 km, 8 km, 7 km, 10 km, 12 km, 6 km y 5 km. ¿Cuál es la media, la mediana, la moda y el rango de los viajes recorridos?

INVESTIGACIÓN ACCIÓN: ¡ESTADÍSTICAS EN LA BASURA!

Carmen Velázquez^{1,2} y Lymarie Pérez^{1,2}

¹Center for Science and Math Education Research

²Puerto Rico Department of Education

RESUMEN

Esta investigación analiza el uso del método de investigación acción, Aprendizaje Basado en Proyectos (PBL) para mejorar el aprendizaje de estadísticas usando un problema del mundo real de generación de desperdicios sólidos. Los estudiantes seleccionaron varios establecimientos de comida rápida donde compraron la oferta de mayor venta y separaron los cubiertos, envolturas y materiales a desechar (desperdicios sólidos) incluidos con la misma para determinar su peso, el cual fue usado para calcular las medidas de tendencia central y de dispersión de los desperdicios sólidos generados por cada establecimiento seleccionado. Para evidenciar el cambio en el aprovechamiento académico en estadísticas como resultado de su participación en la intervención educativa se administró una pre y pos prueba a cada grupo de estudiantes, consistiendo de varias partes en que el estudiante trabajó con ejercicios donde aplicó medidas de tendencia central y de dispersión, construyó una gráfica de barra para representar los datos correctamente e interpretó una gráfica circular. El análisis de la pre y pos prueba evidenció que hubo una ganancia significativa en conocimientos luego de que los estudiantes participaran en la intervención educativa PBL

Palabras clave: aprendizaje basado en proyectos, desperdicios sólidos, estadísticas.

ABSTRACT

This research analyzes the use of the Project Based Learning (PBL) method in the improvement of statistics knowledge by using a solid waste generation real world problem. The students selected various fast food establishments and purchased the bestselling combination. The different components (forks, wrappings, and other solid wastes) were separated and weighted in order to calculate the mean and standard deviation of the wastes that were generated at each establishment. Pre and post tests were used to evaluate the change in knowledge in statistics for each student group. Several exercises includes determining averages and standard deviations, constructing a bar chart to properly present the data and interpreting a pie chart. The analysis of the pre and post tests showed that there was a significant gain in knowledge by participating in the PBL exercise.

Keywords: Project based learning, solid wastes, statistics.

INTRODUCCIÓN

Una estudiante que llamaremos María se encontraba comiendo en un establecimiento de comida rápida. Al pedir su comida, observa que el empleado le entrega su comida con dos envolturas, un vaso de 16 onzas con su tapa, un complemento en otra envoltura, un sorbeto y 6 servilletas. Ella queda impactada al observar tanto material a ser desechado para una sola comida. Pensó: “¿cuánto pesan esos materiales a ser desechados?, ¿cuál es el promedio de peso de esos materiales? y ¿cuál establecimiento de los más concurridos generará más materiales a ser desechados?” María pudo utilizar sus conocimientos y destrezas en la materia de estadísticas para contestar sus preguntas porque aprendió del tema mediante su participación en la estrategia de aprendizaje basado en proyecto (PBL, por sus siglas en inglés).

La enseñanza de las estadísticas cobra cada vez más importancia, ya que especialistas, profesionales y ciudadanos se basan en ellas para poder tomar decisiones, lo que las hace necesarias en nuestra sociedad moderna (Gal 2002). El Marco Curricular del Programa de Matemáticas del Departamento de Educación de Puerto Rico (DEPR) (DEPR 2003), indica que es importante que los estudiantes desarrollen destrezas de pensamiento, porque es necesario que vean la pertinencia de las matemáticas en su vida diaria. Sin embargo, en muchas ocasiones, los estudiantes son incapaces de aplicar dicho conocimiento en su diario vivir porque han aprendido en contextos tradicionales (Torp y Sage 2002). Las interrogantes de María se pudieron resolver utilizando esa rama de las matemáticas. Al conocer esta situación, las investigadoras se interesaron en estudiar cómo la implantación de experiencias de aprendizaje basado en proyecto mejora el aprovechamiento académico de las estadísticas en los estudiantes impactados. Esta problematización nos lleva a la pregunta de investigación: El uso del tema de los desperdicios sólidos aplicados a las

estadísticas, ¿aumentará el aprovechamiento académico de los estudiantes en este concepto?

REVISIÓN LITERARIA

El marco teórico que se utilizó como referencia fue la Teoría Pragmática de John Dewey y el Aprendizaje Significativo de David Ausubel. Estos se fundamentan en la experiencia y el significado para el estudiante, respectivamente. Según Dewey (citado en Zuluaga 2014), el proceso adecuado de la educación consiste en la interacción de dos factores fundamentales, un individuo no desarrollado e inmaduro y algunos fines sociales, ideas y valores que se manejan a través de la experiencia adulta. La concepción de cada una de éstas al relacionarse con la otra, es lo que facilita su interacción y esto es la esencia de la teoría educativa. Para Dewey, el estudiante es el centro de la gestión educativa. El maestro es un facilitador o un guía que interactúa con las necesidades y capacidades del estudiante brindando las herramientas necesarias para la construcción del conocimiento a través de la experiencia (Zuluaga 2014).

Para David Ausubel (citado en Zuluaga 2014), el aprendizaje es significativo cuando se relaciona la nueva información con lo que se conoce. El estudiante incorpora la nueva información en las estructuras internas del conocimiento que ya posee, lo que Ausubel denomina como la asimilación del nuevo conocimiento. Para que esto suceda, el aprendizaje debe tener significado en sí mismo y ser significativo para el estudiante. Este aprendizaje posee tres ventajas importantes: primero, la información que se aprende deja huellas en los conceptos inclusores; segundo, los contenidos adquiridos se retienen por mayor tiempo, y tercero, producen cambios de carácter cualitativo en la estructura cognitiva del sujeto (Barone 2005).

Estas dos teorías se unen en esta investigación para dar base al diseño de la estrategia educativa bajo estudio (PBL). Los principales beneficios de esta estrategia de aprendizaje, tales como: los estudiantes desarrollan habilidades y competencias tales como colaboración, planificación de proyectos, comunicación, toma de decisiones y manejo del tiempo; aumentan la motivación y autoestima; propicia la integración entre el aprendizaje, la escuela y la realidad; desarrolla habilidades de colaboración para construir conocimiento; desarrolla destrezas para la solución de problemas; permite establecer relaciones de integración entre diferentes disciplinas; incrementa las fortalezas individuales de aprendizaje de los diferentes enfoques y estilos; y propicia aprender de manera práctica el uso de la tecnología. Con esta estrategia se ha evidenciado que los estudiantes desarrollan habilidades y competencias, como también, aumentan su motivación en un contexto real (Galeana 2006). Aquí el estudiante desarrolla su conocimiento mientras trabaja en un proyecto que tiene aplicación en la vida diaria (Velázquez y Figarrella 2012, Caiseda y Dávila 2006). Este aprendizaje se fundamenta en el aprender haciendo, llevando al estudiante a pasar por unas experiencias significativas que le ayudan a desarrollar las destrezas mientras construyen su conocimiento. El trabajar un problema real y existente les brinda la oportunidad de pasar por la experiencia de analizar los datos recolectados, para luego ofrecer sugerencias y recomendaciones.

BataneroyDíaz(2004)indicanqueseutilicen proyectos a la hora de enseñar estadísticas, para que el estudiante vea la pertinencia de estas al ir aplicando los conceptos aprendidos. Existe la necesidad de enseñar las estadísticas de forma que se centre en los datos más que en los conceptosos algoritmos y que los estudiantes tengan una experiencia al realizar experimentos y simulaciones utilizando estadística (Franklin et al. 2007). Según (Gal 2002), los estudiantes

son los que deben plantear y resolver los problemas utilizando información y datos recogidos de su entorno, plantear preguntas partiendo de las observaciones realizadas y responder las mismas, por lo que proporcionar las herramientas que necesitan los estudiantes les permitirá ser críticos y reflexivos en la toma de decisiones.

Se pretende involucrar al estudiante ante esta problemática, no solo para crear conciencia, sino para utilizar las matemáticas en el análisis de los datos. Bien dice Zuluaga citando a John Dewey: “La primera responsabilidad de la escuela es invitar a la curiosidad natural y la actividad del niño y dirigir estos hacia la investigación de materias de interés” (Zuluaga 2014). Tanto los maestros, como los padres, deberían dar a los niños las condiciones y oportunidades apropiadas para el aprendizaje y la expresión que les lleva a la investigación e indagación extensa. El progreso del estudiante es medido por su capacidad de demostrar su habilidad al encontrarse en nuevas situaciones, expresar y compartir sus experiencias. Por esta razón, entendemos que la mejor manera para que el estudiante aprenda, es mediante una experiencia vivida, donde la realidad de la problemática le ayuda a investigar y buscar posibles soluciones sustentando las mismas con base estadística.

MÉTODO

El estudio que se describe a continuación siguió el método de investigación acción (Mills 2003, MacLean, Mohr y National Writing Project (U.S.) 1999). La investigación en acción es una reflexión de la práctica del maestro. Este método permite al maestro mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje en la sala de clases a través de la documentación y explicación de las acciones que mejoran los resultados de la educación (Orengo, n.d.). El estudio fue de tipo cuantitativo con diseño pre-experimental (Creswell 2009, McMillan 2004) ya que no

hubo aleatorización de los participantes. Se utilizó el formato de *single-group pretest-treatment-posttest* (Charles 1995). La pregunta de investigación que guió este estudio fue: Al integrar el tema de los desperdicios sólidos en la enseñanza de las estadísticas, ¿aumentará el aprovechamiento académico de los estudiantes en las estadísticas?

Muestra

Para propósito de esta investigación se seleccionaron dos grupos. En el primer grupo participaron 18 estudiantes de octavo grado de la región sur de Puerto Rico de los cuales 7 eran masculinos y 11 eran femeninos. En este grupo hubo 5 estudiantes pertenecientes al Programa de Educación Especial. El segundo grupo eran 21 estudiantes de duodécimo grado del área este de PR. Estuvo compuesto por 13 masculinos y 8 femeninos; 4 estudiantes pertenecían al Programa de Educación Especial.

Intervención Educativa

Se desarrolló el proyecto escolar titulado ¡Estadísticas en la basura!, basado en la estrategia educativa PBL, cuyo objetivo fue mejorar el aprendizaje de los estudiantes en el concepto de estadísticas al analizar e interpretar datos que se recolectaron a partir de la generación de desperdicios sólidos en establecimientos de comida rápida. El proyecto se integró a la unidad de estadísticas del currículo del octavo grado. En el caso del duodécimo grado, este tema se desarrolla durante un semestre escolar. En ambos contextos, la experiencia de aprendizaje tuvo una duración de 4 semanas.

A los estudiantes se les presentó una situación motivadora, la cual permitió que ellos se interesaran en el proyecto a realizar. Mediante un diálogo, debate y/o discusión, se determinó el título del proyecto, el problema y las preguntas a investigar. El propósito del proyecto fue determinar la

producción de desperdicios sólidos mediante el uso de estadísticas descriptivas. Para esto, los estudiantes seleccionaron varios establecimientos de comida rápida cercanos a la escuela para realizar el estudio. Se formaron 4 grupos de estudiantes. A cada grupo se les asignó un tipo de restaurante de comida rápida. Cada grupo visitó y observó el establecimiento previamente seleccionado. Durante la visita, obtuvieron la siguiente información de personal del establecimiento: (1) cuál era la oferta de mayor venta en el establecimiento durante el almuerzo, y (2) cuántas de esas ofertas se venden diaria y semanalmente.

Los estudiantes compraron la oferta de mayor venta y separaron los cubiertos, envolturas y materiales a desechar (desperdicios sólidos) incluidos con la oferta. Procedieron a pesarlos en una balanza en gramos para luego cambiarlos a libras. Diseñaron una tabla para incluir los nombres de los materiales, la cantidad de cada uno y su masa (gramos y libras). Cada grupo utilizó la masa en libras de los materiales para calcular las medidas de tendencia central y de dispersión del establecimiento seleccionado. Realizaron una gráfica circular representando el porcentaje de las masas de cada material.

Los estudiantes presentaron sus hallazgos en un informe escrito y uno oral. Luego de que cada grupo informara sobre sus análisis, compararon la cantidad total de desperdicios sólidos generados diarios y semanalmente por cada establecimiento y utilizaron los datos para construir una gráfica de barras. Los estudiantes dejaron sentir su preocupación y compromiso al ofrecer sugerencias y recomendaciones mediante una carta, la cual se entregó en los establecimientos de comida rápida.

Métodos de Recolección de Datos

En esta investigación se administró una pre y pos prueba a cada grupo para evidenciar el cambio en el aprovechamiento

académico en estadísticas como resultado de su participación en la intervención educativa (PBL). La preprueba y posprueba consistió de tres partes. En la parte I, el estudiante trabajó con ejercicios donde aplicó medidas de tendencia central y de dispersión (preguntas cerradas). En la última pregunta, el estudiante debía construir una gráfica de barra donde los criterios a evaluar fueron los siguientes: (1) construir correctamente la gráfica, (2) escribir el título e identificar los ejes, (3) mostrar las escalas correctas y, (4) representar los datos correctamente. La parte II consistió de cuatro preguntas cerradas a través de las cuales se interpretaba una gráfica circular. En la parte III, los estudiantes debían contestar tres preguntas cerradas utilizando la información de una tabla que tenía medidas en gramos, kilogramos y libras. Para contestar las preguntas, debían realizar una conversión de gramos a libras y de kilogramos a libras.

Análisis

Para comenzar el análisis de datos, en cada grupo se obtuvo el porcentaje correcto de cada estudiante y luego se sacó el promedio de todos los estudiantes, tanto en la pre como en la pos prueba, en cada grupo (Figs. 1 y 2). Se realizó la estadística descriptiva haciendo uso del programado Minitab (Snedecor and Cochran 1989). En específico, se efectuó la comparación de los resultados de la pre y pos prueba en cada grupo utilizando la prueba estadística de t_{student} para muestras independientes. Esta prueba permitió determinar si hubo un incremento en las puntuaciones de los estudiantes por medio de su participación en la estrategia de enseñanza PBL. Para satisfacer los requisitos del análisis de t_{student} , se verificó la normalidad de los mismos utilizando la Prueba de Ryan-Joiner del programado Minitab. Es importante elegir las pruebas estadísticas apropiadas para analizar los datos, según la

hipótesis formulada y los niveles de medición de la variable. Esto evidencia que las pruebas utilizadas para este análisis son adecuadas (Hernández et al. 2003).

RESULTADOS

El análisis de los datos comenzó con el cálculo de los porcentajes obtenidos por cada estudiante de cada grupo. Las Figuras 1 y 2 muestran el promedio de esos porcentajes obtenidos, tanto en la pre como en la pos prueba de cada grupo.

La Prueba de Ryan-Joiner ($RJ = 0.98$, $p > .10$) del grupo 1 (8vo grado), permitió aseverar la normalidad de los datos. Los resultados de la Prueba t-Student mostraron que hubo un incremento estadísticamente significativo entre los resultados de la preprueba y los de la posprueba ($T = 13.72$, $p = .00$). De la misma forma en el grupo 2 (duodécimo grado), la Prueba de Ryan-Joiner ($RJ=0.993$, $p > .10$) también permitió verificar la distribución normal de los datos. Los resultados de la Prueba de t-Student mostraron que hubo un incremento estadísticamente significativo entre los resultados de la preprueba y los de la posprueba ($T = 23.29$, $p = .00$).

Al comparar los valores de la pre y la pos prueba en cada grupo, se contestó la pregunta de investigación que establece que al integrar el tema de los desperdicios sólidos en la enseñanza de las estadísticas mejoró el aprovechamiento académico de los estudiantes en estas.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

El análisis de la pre y pos prueba evidenció que hubo una ganancia significativa luego de que los estudiantes participaran en la intervención educativa PBL. Para el

FIGURA 1. Promedio de los porcentajes obtenidos por los estudiantes en la pre y pos prueba del Grupo 1.

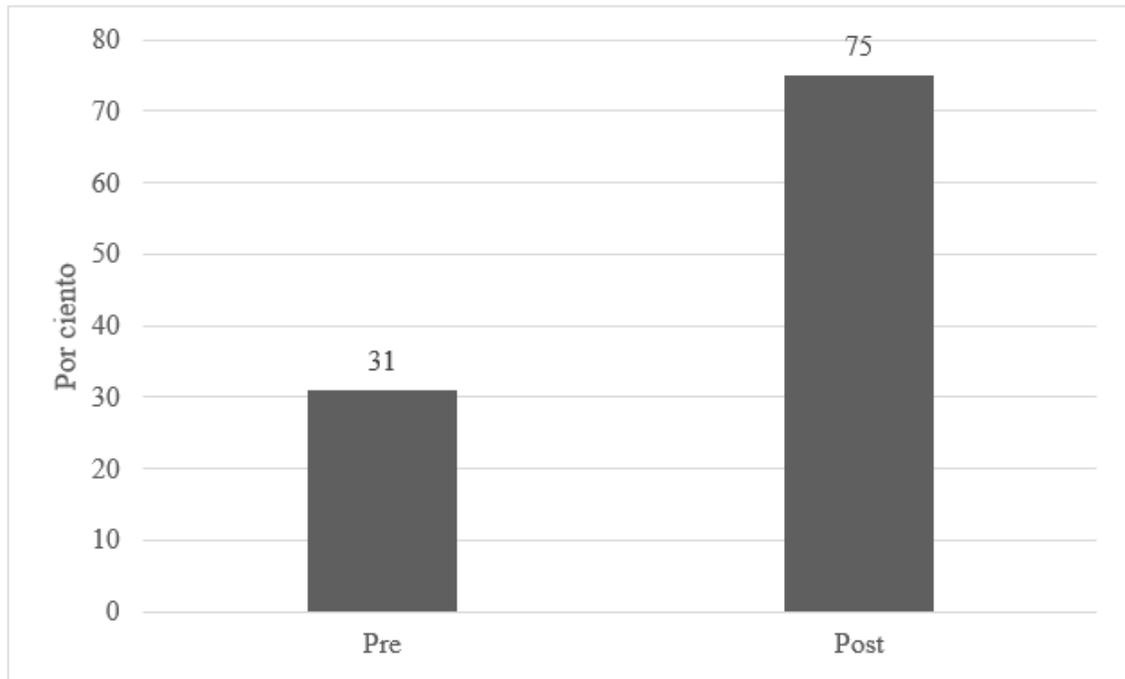
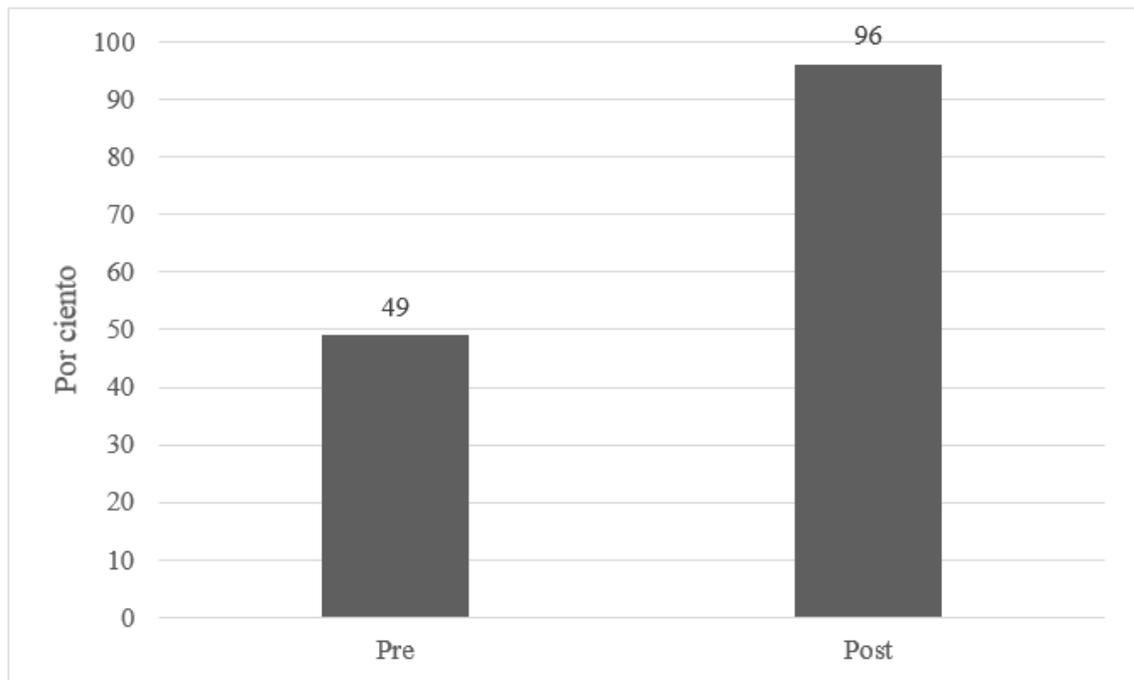


FIGURA 2. Promedio de los porcentajes obtenidos por los estudiantes en la pre y pos prueba del Grupo 2.



grupo de 8vo grado, la preprueba mostró que ningún estudiante dominó la prueba (70 por ciento o más). Por el contrario, la posprueba mostró que el 83 por ciento de los estudiantes obtuvieron 70 por ciento o más luego de la intervención. Al comparar ambos porcentos se muestra una ganancia de 44 por ciento. En el caso del grupo de duodécimo grado, se observó que un solo estudiante dominó la preprueba con más de un 70 por ciento. Sin embargo, la posprueba mostró que el 95 por ciento de los estudiantes dominaron las destrezas estadísticas luego de la intervención. Al comparar ambos porcentos, se obtuvo una ganancia de 47 por ciento.

Lo antes expuesto demostró que los estudiantes mejoraron su conocimiento y destrezas estadísticas, luego de ser partícipes de una estrategia que plantea una situación real y problemática. María pudo recurrir a la estadística para contestar sus preguntas porque ella aprendió ese contenido en el contexto de una experiencia de aprendizaje basado en proyecto (PBL). Esa conexión entre el conocimiento de estadísticas que se aprende en el salón y la que se aplica en el mundo real, no hubiese sido tan natural si lo hubiese aprendido en el contexto de la enseñanza tradicional de estadísticas (Torp y Sage 2002). Concluimos que la participación de los estudiantes en la estrategia de PBL ayudó a mejorar sus destrezas estadísticas.

AGRADECIMIENTOS

Las investigadoras desean resaltar la colaboración ofrecida por los proyectos *Center for Science and Math Education Research* (Financiado por la Fundación Nacional de Ciencias – NSF #1038166) y *Puerto Rico Master Math Teacher*

(NSF - #0934820) de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras, en especial a sus investigadores, la Dra. Michelle Borrero y el Dr. Rafael Ríos, a su coordinadora, la Dra. Marta Fortis, a su gerente la Sra. Brenda Santiago y la evaluadora, Dra. Milagros Bravo. De igual manera, a los asesores participantes en el proyecto escolar, a nuestros estudiantes y a toda la comunidad escolar.

REFERENCIAS

- Barone, L.R. 2005. Escuela para maestros, enciclopedia de pedagogía práctica. En Escuela para maestros, enciclopedia de pedagogía práctica.: Circulo Latino Austral s. a.
- Batanero, C., y M. Díaz. 2004. El papel de los proyectos en la enseñanza y aprendizaje de la estadística. Aspectos didácticos de las matemáticas 125 - 164.
- Caiseda, C., and Dávila, E. 2006. El aprendizaje basado en problemas y proyectos: Una estrategia de integración. Integración de las Ciencias y las Matemáticas a nivel intermedio. Primera edición. Universidad Interamericana de Puerto Rico Bayamón.
- Charles, C.M. 1995. Introduction to educational research. Segunda edición. Longman Publishers USA, White Plains, N.Y.
- Creswell, J.W. 2009. Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. Tercera edición. Sage Publications, Thousand Oaks, California.
- Departamento de Educación de Puerto Rico. 2003. Marco Curricular Programa de Matemáticas.
- Franklin, C., G. Kader, D. Mewborn, J. Moreno, M. Peck, y R. Scheaffer. 2007. Guidelines for assessment and instruction in statistics education (GAISE) report: A Pre-K-12

- curriculum framework. American Statistical Association.
- Gal, I. 2002. Adult's statistical literacy. Meanings, components, responsibilities. *International Statistical Review* 70:1-25.
- Galeana, L. 2006. "Aprendizaje Basado en Proyectos: Universidad de Colima" (revista CEUPROMED) *Revista de investigación educativa*.
- Hernández, R., C. Fernández, y P. Baptista. 2003. *Metodología de la investigación*. McGraw - Hill Interamericana de México, S.A. de C.V., México.
- MacLean, M.S., M.M. Mohr, y National Writing Project (U.S.). 1999. *Teacher-researchers at work*. National Writing Project, Berkeley, California.
- McMillan, J.H. 2004. *Educational research: fundamentals for the consumer*. Cuarta edición. Pearson, Boston.
- Mills, G.E. 2003. *Action research: a guide for the teacher researcher*. Segunda edición. Merrill/Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.
- Orengo, J. n.d. *Investigación en acción*. <http://www.slideshare.net/lucylorenaroquelsonroy9/investigacion-en-accion>
- Slavin, Robert E. 2007. *Educational research in an age of accountability*. Pearson, Boston.
- Snedecor, G.W., y W.G. Cochran. 1989. *Statistical Methods*. Octava edición. Iowa State University Press, Iowa, USA.
- Torp, L., y S. Sage. 2002. *Problems As Possibilities: Problem-based Learning for K-16 Education*. Association for Supervision and Curriculum Development, Alexandria, VA
- Velázquez, L., y F. Figarrella. 2012. *La problematización en el aprendizaje. Tres estrategias para la creación de un currículo autentico*. Editorial Isla Negra, San Juan, Puerto Rico.
- Zuluaga, O., A. Molina, D. Velásquez, y D. Osorio. 2010. *La pedagogía de John Dewey*. *Revista Educación y Pedagogía* 10-11:20-30. <http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/revistaeyp/articleview/5697/5117>

PROYECTO AMBIENTAL PROMUEVE DESTREZAS DE TRABAJO EN EQUIPO EN ESTUDIANTES DE MATEMÁTICAS

Yamily Colón^{1,2} y Amabel Soto^{1,2}

¹Center for Science and Math Education Research

²Puerto Rico Department of Education

RESUMEN

El aprendizaje basado en proyectos (ABP) es una estrategia de enseñanza en la que el estudiante construye su propio conocimiento mientras fomenta habilidades tan importantes como son: el trabajo en equipo, la planificación del tiempo, la capacidad de expresión oral y escrita, entre otros. Este artículo detalla una investigación acción de un estudio realizado con estudiantes del nivel superior en la clase de matemáticas. Su propósito fue evidenciar si la estrategia ABP mejora el aprendizaje de los conceptos relacionados al área de superficie y volumen de prismas rectangulares y cilindros, a la vez que promueve el desarrollo de destrezas útiles de trabajo en equipo para el siglo XXI, como son la comunicación, negociación, colaboración y planificación. El desarrollo de un proyecto ambiental escolar brindó la oportunidad a los estudiantes de mejorar su conocimiento acerca de los conceptos de matemáticas estudiados y el desarrollo de destrezas de trabajo en equipo. Como valor añadido los estudiantes crearon conciencia del problema del mal manejo de desperdicios sólidos.

Palabras clave: Aprendizaje basado en proyectos, proyecto ambiental, desperdicios sólidos, volumen, área superficial, trabajo en equipo.

ABSTRACT

Project-based learning (PBL) is an instructional strategy in which students generate their own knowledge while it helps them develop important skills like: team work, time management, oral and written communication skills, amongst others. This article presents an action research study in secondary school math class. The objective of the study was to evidence if PBL improves students' learning of concepts related to surface area and volume of rectangular prisms and cylinders, while it encourages the development of team work skills that are essential for the XXI century like communication, negotiation, collaboration and planning. The development of an environmental school project gave students the opportunity to improve their knowledge on the aforementioned concepts as well as it helps them develop important team work skills. As value added, students also developed awareness on the problem of solid waste management.

Keywords: Project-based learning, environmental project, solid waste, volume, area, team work.

INTRODUCCIÓN

Los procesos de enseñanza y aprendizaje, en general, deben promover el desarrollo integral de todos los estudiantes y su capacidad de aprender activamente, de forma continua y con la oportunidad de alcanzar destrezas de alto nivel a lo largo de la vida. Esto los prepara para ser ciudadanos productivos en la sociedad en que conviven. Para nosotros como educadoras en Matemáticas, en este proceso bidireccional de enseñar y aprender, es esencial que los estudiantes perciban esta disciplina como una herramienta para solucionar problemas y no como un problema en sus vidas. Es nuestra meta que la educación en matemáticas se transforme en una aventura intelectual para los estudiantes y que estos aprecien el amplio potencial que esta tiene en su diario vivir. Esto, en concordancia con lo que señala el Programa Internacional de Evaluación de Estudiantes (*Program for International Student Assessment, PISA*), cuando establece que necesitamos estimular en los estudiantes una capacidad individual para identificar y comprender el papel que desempeñan las matemáticas en el mundo, emitir juicios bien fundados, utilizar las matemáticas y comprometerse con ellas y satisfacer las necesidades de la vida personal como ciudadano constructivo, comprometido y reflexivo (2009).

Las metodologías constructivistas guían el aprendizaje de manera integral mediante la indagación crítica y profunda del entendimiento conceptual. A través de estas el maestro aprovecha los medios de enseñanza para que no influyan sobre estructuras cognitivas concretas (atención, memoria, recuperación de información, entre otros), sino en su funcionamiento integral (Sarmiento 2004). De manera que estas estrategias se utilizan en la sala de clase para lograr desarrollar en los estudiantes el aprendizaje de las matemáticas de forma integral y pertinente. Así pues, un maestro con una filosofía educativa constructivista no deja

que estudiantes memoricen de forma rutinaria la información, sino que les da la oportunidad de construir significativamente el conocimiento y de comprenderlo por sí mismos (Kohn 1999). Desde este punto de vista, la información no se vierte directamente a la mente de los estudiantes, sino que están motivados para explorar su mundo, descubrir el conocimiento, reflexionar y pensar de forma crítica.

La Teoría de la Zona del Desarrollo Proximal de Lev Vygotsky establece que la relación entre el aprendizaje y el desarrollo del niño es inseparable de sus actividades sociales y culturales (Santrock 2001). Su concepto de la zona de desarrollo próximo se utiliza para describir el rango de las tareas que resultan muy difíciles para que los estudiantes las realicen solos, pero que pueden aprender con la guía o asistencia de especialistas en el área de estudio o de otros estudiantes más diestros. Esta teoría del constructivismo social se enfatiza en la técnica grupal o colaborativa donde los estudiantes trabajan unos con otros en su esfuerzo por conocer y comprender. Este proceso de enseñanza y aprendizaje sería exitoso para que los estudiantes encuentren la pertinencia de las matemáticas a la vida diaria y solucionen problemas cotidianos. La tendencia observada en años recientes acerca de la práctica educativa, destaca ciertas estrategias de enseñanza que permiten el aprendizaje en contexto. Entre estas estrategias se pueden mencionar: la solución de problemas (Pérez y Ramírez 2011, Sánchez y Fernández 2003), los juegos en la educación matemática (Muñiz, Alonso et al 2014) y el Aprendizaje Basado en Proyecto, ABP (Maure y Marimón 2015, Velázquez y Figarella 2012), entre otros.

El ABP es un modelo de enseñanza y aprendizaje no tradicional, por medio del cual el estudiante construye su propio conocimiento (Barrows 2000). Diversos estudios muestran que el ABP fomenta habilidades tan importantes como son: el trabajo en grupo, el aprendizaje

autónomo, la capacidad de autoevaluación, la planificación del tiempo, el trabajo por proyectos y la capacidad de expresión oral y escrita. Como parte del constructivismo social, el estudiante, por medio del ABP, puede lograr un aprendizaje que promueve el desarrollo de las destrezas útiles de trabajo en equipo para el siglo XXI; como, por ejemplo, la comunicación, negociación, colaboración y planificación (Bell 2010). El desarrollo de estas destrezas es fundamental para que el estudiante alcance el éxito eventualmente tanto en el ámbito laboral como en la vida misma. Además, mejora la motivación del estudiante, lo que se traduce en un mejor rendimiento académico y una mayor persistencia en el estudio. Es decir, el ABP es una práctica educativa que promueve en el estudiante la construcción del conocimiento, mientras realiza diversas acciones para trabajar un problema (Velázquez y Figarella 2012).

Los proyectos escolares, como marco para esa solución de problemas, sirven como escenarios para generar aprendizaje por medio de la interacción social. El uso de proyectos como parte del currículo no es algo nuevo, se ha planteado de forma exitosa como una alternativa de trabajo en la sala de clases. El éxito en el aprendizaje se da cuando los estudiantes tienen la oportunidad de transferir los conceptos abstractos de las matemáticas a hechos concretos, o sea, la contextualización del aprendizaje. No obstante, trabajar en contexto en el área de las matemáticas es un constante reto para el educador.

El aprendizaje basado en proyecto es un método de enseñanza caracterizado por el uso de problemas del “mundo real” establecidos como contextos en los que los estudiantes desarrollan su capacidad crítica y de solución de problemas, al tiempo que adquieren los conceptos esenciales de un determinado ámbito de conocimiento (Iglesias 2002). Cabe señalar, que no es lo mismo darle contexto a la matemática con problemas verbales de la

vida diaria en distintos temas, que involucrar al estudiante en un proyecto activo donde tenga que aplicar diferentes contenidos matemáticos (nuevos o ya aplicados con anterioridad). Esto es lo que provoca el ABP, un recorrido en espiral de forma combinada, que contrasta con un recorrido lineal, entiéndase problemas verbales, en forma aislada o débilmente combinada (Morales 2011).

La estrategia de ABP ha sido muy estudiada en el campo de la educación matemática (Rogers et al. 2011, Kurz y García 2010, Wilhelm et al. 2008). Los estudiantes retienen mayor cantidad de conocimiento y habilidades cuando están comprometidos con proyectos estimulantes. Mediante la realización de un proyecto, los estudiantes hacen uso de habilidades mentales de orden superior en lugar de memorizar datos en contextos aislados, sin conexión. Se hace énfasis en cuándo y dónde se pueden utilizar en el mundo real. De esta manera podrán darle verdadero significado a lo que están aprendiendo, lo que no les ocurre cuando están simplemente aplicando fórmulas.

Sin embargo, existe muy poca literatura acerca del uso de esta estrategia para el aprendizaje del concepto de volumen, contextualizado con el problema de los desperdicios sólidos. Se destaca un estudio realizado por Luera et al. (2003) quienes presentan una unidad de trabajo en el tema de volumen con estudiantes de sexto a octavo grado, creando un vínculo interdisciplinario entre las ciencias y las matemáticas. Los estudiantes estimaron el volumen de un prisma rectangular y desarrollaron una investigación para determinar su volumen real. Ciertamente en nuestra práctica educativa hemos encontrado que existe en los estudiantes concepciones alternas sobre el tema de volumen que el uso de esta estrategia pudiese resolver. Uno de ellos surge cuando el estudiante no sabe distinguir entre volumen y área de superficie, confundiendo los términos al pensar que son

similares. El estudiante se limita a emplear una serie de fórmulas para cada concepto, según le fueron enseñadas, aplicándolas en ejercicios de práctica. Sin embargo, cuando se le brindan problemas verbales para tratar de contextualizar el tema, este no ve la diferencia entre los conceptos y aplica la misma fórmula para determinar tanto al área de la superficie del objeto como su volumen.

La reflexión acerca de los beneficios de la utilización del ABP, nos motivó a realizar esta investigación acción en dos escuelas públicas de nivel superior del Departamento de Educación de Puerto Rico (Departamento de Educación de Puerto Rico). El propósito de la misma era auscultar si al usar la estrategia de ABP se podría mejorar el problema que presentan los estudiantes en el aprendizaje de los conceptos relacionados al área de superficie y volumen de prismas rectangulares y cilindros y a su vez promover en estos, destrezas útiles de trabajo en equipo para el siglo XXI, como son la comunicación, negociación, colaboración y planificación.

MÉTODO

Cada investigadora incorporó dentro del proceso de enseñanza de las matemáticas el desarrollo de un proyecto escolar basado en la estrategia de ABP con sus estudiantes del nivel superior para desarrollar los conceptos de área superficial y volumen de prismas rectangulares y cilindros y destrezas de trabajo en equipo. Ambas utilizaron la misma situación motivadora para despertar el interés en el problema a estudiar. Sin embargo, de acuerdo a los intereses y necesidades de los estudiantes que participaron, tal como plantea el ABP, los proyectos desarrollados bajo cada investigadora fueron distintos (ver Descripción de la intervención educativa). No obstante, ambas recopilaron información del aprovechamiento y destrezas de trabajo en equipo desarrolladas por los

estudiantes utilizando los mismos instrumentos y procedimiento.

Muestra

La investigación se realizó con dos muestras de estudiantes, una por cada investigadora. La muestra *X* corresponde a un grupo de 50 estudiantes de noveno grado en el curso de Matemáticas 9, distribuidos en 25 estudiantes en el grupo control y 25 estudiantes en el grupo experimental. De otra parte, la muestra *Y* consistió de 42 estudiantes de décimo grado en el curso de Algebra 2; de estos, 12 estudiantes en el grupo control y 30 estudiantes en el grupo experimental.

Descripción de la Intervención Educativa

Cumpliendo con los criterios de un ABP, los estudiantes de cada investigadora seleccionaron cómo se implantaría el ABP.

Proyecto Escolar Muestra X

Una vez se presentó la situación motivadora del manejo de los desperdicios sólidos a nivel comunitario y mundial, los estudiantes identificaron que en la escuela no se estaba efectuando un programa de reciclaje. Específicamente, que existía una seria situación en el lugar donde se estaba desechando la basura debido al gran volumen de desperdicios sólidos generados en la escuela y al mal manejo del mismo. Los estudiantes investigaron el problema para encontrar alternativas para solucionarlo e impactar la comunidad escolar. Se les dirigió para que la solución propuesta se realizara aplicando el concepto de volumen de prismas rectangulares y cilindros que corresponde al estándar de medición M.TM. 9.8.2: Aplica el principio de volumen = área de la base x altura para relacionar las fórmulas de área y volumen de primas y cilindros (Departamento de Educación de Puerto Rico 2007).

Para llevar a cabo el proyecto, el cual llamaron *Nos cubre la basura, somos parte de la solución*, los estudiantes trabajaron en grupos colaborativos. Estos tenían unas tareas a realizar muy específicas integrando otras materias, entre ellas, español, ciencias, artes visuales y artes industriales. Los estudiantes en cada grupo de trabajo se asignaron los distintos roles: planificadores, diseñadores, redactores y publicistas. Los planificadores determinaron el volumen del lugar donde se depositaban los desperdicios sólidos y ofrecieron alternativas para reestructurar el área; los diseñadores, en colaboración con el maestro de artes industriales, dibujaron un plano a escala del área a reestructurar con las medidas y recomendaciones de los planificadores. Los redactores, con la asesoría de la bibliotecaria escolar y la maestra de ciencias, elaboraron una propuesta al consejo escolar donde explicaron el problema, sus implicaciones negativas y las alternativas y estrategias para reducir los desperdicios sólidos y su disposición, incluyendo una reestructuración del lugar donde se disponían los desperdicios sólidos originalmente. Los publicistas, en colaboración con la maestra de artes visuales, elaboraron una campaña de educación y orientación masiva dirigida a la comunidad escolar. Esta incluyó charlas del manejo adecuado de los desperdicios sólidos y de la diseminación de las alternativas que se desarrollaron para solucionar el problema. También crearon una página en las redes sociales llamada Espacio Verde (<https://www.facebook.com/Espacio-Verde-1396327950637219/>) para orientar acerca del buen manejo de desperdicios sólidos y documentar el progreso del proyecto escolar. Luego de realizar las tareas designadas, cada grupo ofreció una presentación oral de su trabajo. Como producto final de su proyecto, los estudiantes del grupo experimental crearon un centro de acopio denominado *Espacio Verde* en el lugar donde inicialmente se depositaba toda la basura que se generaba en la escuela. Los estudiantes coordinaron con la administración

municipal el recogido de los materiales que se reciclan tanto en la comunidad escolar como en comunidades aledañas. Inauguraron el *Espacio Verde* y como parte de la actividad invitaron a toda la comunidad escolar y padres para que se unieran al proyecto, trayendo materiales para reciclar y clasificándolos en el centro de acopio.

De otra parte, los estudiantes del grupo control trabajaron con problemas verbales de aplicación de los conceptos estudiados en la sala de clases y utilizaron manipulativos como figuras tridimensionales construidas en papel y unidades cúbicas para establecer su volumen.

Proyecto Escolar Muestra Y

Luego de la situación motivadora, los estudiantes identificaron el problema del mal manejo de los desperdicios sólidos en el plantel escolar, específicamente de las botellas plásticas de agua. Los estudiantes realizaron un torbellino de ideas de conceptos matemáticos relacionados con la situación motivadora en el cual emergió el concepto volumen, específicamente el volumen que ocupan las botellas plásticas al ser desechadas. Un grupo de estudiantes se dedicó, mediante distintas estrategias a investigar la preferencia en el consumo de agua, el uso y la disposición de las botellas de agua, así como el impacto ambiental que provoca el no reusar las botellas utilizadas diariamente por la comunidad escolar. Luego de estudiar el problema, los estudiantes se dieron cuenta de que se debía educar a la comunidad para minimizar la compra de agua embotellada para reducir el volumen de plástico desechado. Se planificó una campaña publicitaria llamada: *Mejor hidratado con menos plástico*.

Este proyecto motivó a los estudiantes a trabajar en grupos colaborativos. Se motivó a los estudiantes a formar grupos de trabajo de acuerdo a ciertos roles: reportero, estadístico, científico, fotoperiodista, publicista. Una vez los estudiantes fueron distribuidos en los distintos

grupos desarrollaron estrategias de trabajo de acuerdo a sus roles. Cada grupo llevó a cabo diferentes actividades orientadas a documentar el efecto de las botellas plásticas de agua en la cantidad de desperdicios sólidos depositados en los vertederos de PR y determinar si el agua potable es apta para su consumo. Mediante estas actividades ellos comprendieron y aplicaron el concepto volumen y los conceptos científicos en el contexto del proyecto. Cada grupo de trabajo de acuerdo a sus roles divulgó a sus compañeros la información recopilada.

Mediante el proyecto escolar los estudiantes fueron motivados a integrar la clase de matemáticas con diversas materias como español, ciencia y mercadeo. Por ejemplo, la maestra de ciencias trabajó con los estudiantes los conceptos científicos como los niveles de cloruro en el agua, el pH y otras pruebas que ayudan a determinar los estándares óptimos necesarios en la calidad del agua. Para contextualizar el aprovechamiento del tema de volumen de prismas rectangulares y cilindros (estándar M.TM.9.8.2; Departamento de Educación de Puerto Rico 2007), se identificaron tres contenedores de basura de cada forma, localizados en los predios del plantel escolar. Se utilizó una cinta métrica calibrada en metros para determinar las medidas de las aristas necesarias para calcular el volumen y el área de la base de cada uno de los contenedores. Además, se estimó la cantidad de botellas plásticas con las cuales se llenarían los contenedores. Luego, se contrastaron los datos obtenidos de las mediciones con la información recopilada a través de una charla ofrecida por un representante de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados y de noticias publicadas en la Internet. Entre la información ofrecida a los estudiantes se incluyeron los temas de calidad del agua potable en PR, el costo del agua embotellada, el uso adecuado del agua potable, los controles de la calidad del agua potable y los beneficios del agua potable en comparación con el agua embotellada.

Finalmente, se realizó la campaña publicitaria para promover la reducción de las botellas plásticas que se generan por la compra y consumo de agua embotellada, de manera que se logre disminuir el volumen de este desperdicio sólido en nuestros vertederos. La misma fue dirigida a la comunidad escolar con el propósito de crear conciencia y reducir la generación de plástico usado para el agua embotellada, promoviendo en la comunidad en general el consumo de agua potable a través de las fuentes de agua o que trajeran envases apropiados para reusarlos. Esta se divulgó durante el mes de mayo de 2016, como parte de una actividad de reciclaje llevada a cabo en las facilidades de la escuela.

Diseño de Instrumentos y Análisis Estadístico

El instrumento para recabar información del efecto de la intervención educativa, consistió en una prueba de selección múltiple de 15 ítems para evaluar el aprovechamiento en los conceptos de área de superficie y volumen de prismas rectangulares y cilindros (Apéndice 1). Para el diseño de la prueba se adaptaron ejercicios presentados en libros de texto y otros fueron diseñados por las investigadoras. Las investigadoras utilizaron el currículo de matemáticas del DEPR (Departamento de Educación de Puerto Rico 2007) específicamente la expectativa: Aplica el principio de volumen = área de la base x altura para relacionar las fórmulas de área y volumen de prisma y cilindros standard M.TM.9.8.2.) para diseñar los ítems de la prueba. El contenido de esta prueba fue validado mediante el juicio de expertos. Dos maestros de matemáticas del nivel superior altamente cualificados, que además poseen una certificación como *Master Math Teachers*, evaluaron el contenido de las preguntas y sus respuestas basado en su conocimiento y experiencia con la enseñanza de estos conceptos en la sala de clases.

El instrumento se administró a los estudiantes como pre y pos prueba. La preprueba antes de comenzar la intervención educativa, específicamente antes de la situación motivadora y la posprueba, al finalizar la intervención en un intervalo de tiempo de aproximadamente tres meses.

Para establecer si hubo un incremento en el aprovechamiento académico de los estudiantes en el tema de volumen de prismas rectangulares y cilindros, como resultado del método de enseñanza de ABP, se utilizó el Modelo Lineal General del Análisis de Varianza. Se consideró como factor el método de enseñanza utilizado y como covariable, los puntajes alcanzados por los estudiantes en la preprueba; con el objetivo de establecer posibles diferencias entre los grupos al inicio del estudio y su influencia en los puntajes alcanzados por los estudiantes en la posprueba. Para satisfacer los requisitos del Análisis de Varianza (normalidad y homogeneidad de varianzas) se utilizaron la prueba de Ryan-Joiner y la prueba de Levene, respectivamente.

Los datos cualitativos fueron recopilados mediante dos instrumentos: un cuestionario con preguntas abiertas a estudiantes y las observaciones reflexivas de las investigadoras. En el caso de los cuestionarios cada investigadora diseñó sus preguntas relacionadas específicamente con su intervención. Para la muestra X, el cuestionario incluía las siguientes tres preguntas que fueron enviadas a tres estudiantes por vía electrónica; todos los estudiantes contestaron las preguntas incluidas.

1. ¿En cuales momentos del proyecto escolar aplicaste los siguientes conceptos?
 - a. Volumen
 - b. Área

2. Explica cómo aplicaste los conceptos de volumen y área en el desarrollo del proyecto escolar.

- a. Volumen
- b. Área

3. Describe cómo fue tu experiencia en el proyecto, ¿qué cosas aprendiste en el área de matemáticas y en general?, ¿En qué te han ayudado?

En el caso de la muestra Y, veintisiete estudiantes respondieron en su totalidad el instrumento que consistía de las siguientes cinco preguntas:

1. ¿Qué piensas del espacio que ocupa actualmente la basura que generamos en la escuela?
2. Menciona las tareas que realizaste durante el Proyecto Escolar.
3. ¿Cuál de las tareas que realizaste para el Proyecto Escolar fue la más que te gustó?, ¿Por qué?
4. ¿Cuál fue el aprendizaje más significativo que obtuviste de esta experiencia?
5. ¿Qué estrategias utilizarás para concientizar a nuestros compañeros y a nuestra comunidad del problema de la basura en Puerto Rico?

Respecto a las observaciones reflexivas, cada investigadora llevó una bitácora donde diariamente anotaba aquellas observaciones relacionadas con el aprendizaje y la ejecución de sus estudiantes. Las investigadoras analizaron todos los datos cualitativos, según el método propuesto por Wolcott (1994), donde el proceso de análisis comienza desde la recopilación de la información. Se establecieron categorías para agrupar información de forma tal, que los que

tenían similitud de contenido estuvieran bajo una misma clasificación o categoría (Lucca y Berríos 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La administración de la preprueba demostró que los estudiantes, al momento de la intervención, no dominaban los conceptos fundamentales del tema de superficie de área y volumen de prismas rectangulares y cilindros. La media de la puntuación obtenida por la muestra X fue 9.20 para grupo control y 9.72 para experimental; mientras que la media de para la muestra Y fue 7.16 y 7.73, para los grupos control y experimental, respectivamente. Los resultados de la preprueba permitieron establecer que no existen diferencias significativas con relación a los puntajes obtenidos por los participantes del grupo control y el experimental antes de la intervención educativa.

Los datos obtenidos de las puntuaciones de la pre y pos prueba fueron analizados para determinar el aprovechamiento académico de los estudiantes de estos conceptos utilizando la estrategia de ABP. Los resultados de la prueba de Ryan-Joiner permitieron establecer que las diferencias individuales entre los puntajes de la pre y pos pruebas se distribuyeron normalmente (muestra X: $RJ = 0.99$, $p > .1$; muestra Y: $RJ=.97$, $p > .1$). Asimismo los resultados de la prueba de Levene (muestra X: $F=.56$, $p=.459$; muestra Y: $F=.08$, $p=.779$) demostraron la homogeneidad de varianzas entre los tratamientos lo que posibilitó utilizar el modelo lineal general del análisis de varianza para establecer si hubo un incremento en el aprovechamiento académico de los estudiantes como resultado del método de enseñanza de ABP. Para el análisis, se consideró como factor el método de enseñanza utilizado y como covariable los puntajes alcanzados por los estudiantes en la preprueba, con el objetivo de establecer posibles diferencias entre los

grupos al inicio del estudio y su influencia en los puntajes alcanzados por los estudiantes en la posprueba.

Al evaluar los puntajes de los grupos en la posprueba, el grupo experimental en ambos estudios obtuvo un promedio mayor de los puntajes en comparación con el grupo control, según se indica en la Tabla 1. Estos resultados sugieren que hubo aprendizaje del concepto bajo estudio y permiten inferir que el incremento en el aprovechamiento fue debido al proyecto escolar y la utilización del ABP como estrategia instruccional. No obstante, los resultados del análisis de covarianza mostraron que no hubo una relación significativa entre los resultados de la preprueba y los de la posprueba (muestra X: $F= 2.07$, $p=.15$, 1g; muestra Y: $F=.03$, $p=.87$, 1gl). Este resultado puede deberse, entre otros factores, a un problema en el tamaño de la muestra. Asimismo, al evaluar la posible influencia del método de enseñanza en el aprovechamiento académico de los estudiantes, los resultados del análisis de varianza reflejaron que no hubo diferencias significativas ($p>.05$) entre los puntajes alcanzados por los estudiantes en la posprueba (muestra X: $F = .17$, $p = .679$, 1 gl; muestra Y: $F=2.98$, $p=.09$, 1gl). Cabe señalar que para la muestra Y, aunque la diferencia entre los promedios de los puntajes alcanzados por los estudiantes en la posprueba resultó estadísticamente no significativa, se observó un promedio de los puntajes mayor para el grupo experimental y una tendencia para un nivel de significación del 10%. Estos resultados, también pudieron ser afectados por el tamaño de la muestra. También hay que considerar que la experiencia que recibieron los estudiantes del grupo control no fue totalmente tradicional ya que se utilizaron estrategias de aprendizaje activo como son el uso de manipulativos. De manera que este resultado puede interpretarse como que los estudiantes logran aumentar aprovechamiento en los conceptos en tanto se utilicen estrategias de aprendizaje activo en la

TABLA 1. Resultados agrupados de la posprueba.

Grupo	n	Media	Desviación Estándar
Experimental X	25	9.72	2.97
Control X	25	9.20	2.30
Experimental Y	30	7.73	2.76
Control Y	12	7.16	3.38

sala de clases, independientemente de cuales estas sean.

Con el propósito de entender y corroborar los aprendizajes obtenidos por los estudiantes en los conceptos matemáticos de área de superficie y volumen de cilindros y prismas rectangulares, analizamos datos cualitativos recopilados por medio de cuestionarios a los estudiantes y las observaciones reflexivas de las investigadoras (Tabla 2). Por ejemplo, uno de los estudiantes relacionó el volumen con la capacidad, mientras otro establece que “para determinar el volumen de un zafacón en forma de prisma rectangular debía multiplicar la longitud, el ancho y la altura del mismo”. Se observa en estas y otras respuestas de los estudiantes, la comprensión que han alcanzado acerca del concepto volumen cuando utilizan la frase “acumular en un espacio” para referirse a este concepto estudiado.

Cuando los estudiantes comprenden un concepto suelen expresar agrado hacia el mismo; una de las estudiantes indicó que “la tarea que más me gustó fue la de tomar medidas ya que me sorprendí al saber el volumen real de la basura acumulada (en la escuela)”. De nuestras observaciones reflexivas se destaca que los estudiantes hacen referencia, de forma implícita, al concepto volumen como el espacio que ocupa la basura que se genera en la escuela. De igual manera, los estudiantes demostraron dominio, de forma práctica, de los conceptos volumen y área aplicados a las figuras de cilindro y prismas rectangulares. Por ejemplo, en el proyecto de la muestra X, se

transformó el lugar seleccionado en un centro de acopio tomando las medidas y realizando los cálculos correspondientes (Fig. 1). Al analizar tanto las respuestas de los estudiantes como las observaciones reflexivas podemos constatar lo que Velázquez y Figarella (2012) señalan cuando plantean que el ABP es una práctica educativa que permite que los estudiantes trabajen unos con otros en su esfuerzo por conocer y comprender su realidad para presentar la solución a problemas comunes.

En nuestra experiencia como educadoras, los estudiantes acostumbran a hacer comentarios negativos acerca de las técnicas de aprendizaje formales o tradicionales. Sus reclamos giran en torno a que ellos consideran innecesario el esfuerzo que se les exige de prepararse para una evaluación mediante exámenes, pruebas cortas, tareas y otros, pues muchas veces no encuentran la pertinencia de las matemáticas a la vida diaria. Capta la atención de las investigadoras cómo el estudiante logró valorar la experiencia vivida y transferir lo aprendido a otros escenarios (i.e., pertinencia del proyecto y de las matemáticas; Tabla 2). Esto se ejemplifica cuando un estudiante comenta “aprendí que todo tiene que ver con las matemáticas y que las matemáticas son necesarias para nuestra vida diaria”. De manera que el solucionar problemas cotidianos con el uso de las matemáticas provee a los estudiantes de un escenario significativo que le da sentido a lo que están aprendiendo (Mora 2003). Las investigadoras pudieron observar cuán recurrente fue que los estudiantes apreciaran la importancia de la aplicación de los conceptos

TABLA 2. Análisis de los cuestionarios con preguntas abiertas y las observaciones reflexivas de las investigadoras. Est. significa estudiante.

Categorías	Percepción del estudiante	Percepción del maestro
Aprendizaje de conceptos matemáticos: Área	<p>Est. 1: Cuando medimos el espacio en el centro de acopio y luego preparamos el plano del lugar.</p> <p>Est. 2: El área se utilizó específicamente en el momento que se debió medir el lugar.</p> <p>Est. 3: Pues el área lo utilizamos multiplicando la base y altura de los zafacones y de las cajas y también del lugar donde iban a estar.</p>	<p>Los diseñadores demostraron conocimiento en el concepto de área al preparar el plano que mostraron y discutieron en el informe oral que presentaron a sus pares en el salón de clases.</p>
Aprendizaje de conceptos matemáticos: Volumen	<p>Est. 1: Además de la capacidad que tenían cada uno de los zafacones al llenarlos de la basura.</p> <p>Est. 2: El volumen se utilizó específicamente en el momento que se debió medir los recipientes de basura.</p> <p>Est. 3: Pues el volumen lo utilizamos multiplicando la longitud, el ancho y la altura de los objetos que utilizamos como los zafacones que era en forma de cilindro y las cajas en forma de primas rectangulares.</p> <p>Est. KO- La tarea que más me gustó fue la de tomar medidas ya que me sorprendí al saber el volumen real de la basura acumulada (en la escuela)</p>	<p>De forma implícita los estudiantes hacen referencia al concepto volumen: “El espacio que ocupa actualmente la basura que generamos en la escuela...”</p> <p>Los planificadores al tomar las medidas del lugar que transformarían en centro de acopio y realizar los cálculos correspondientes demostraron dominio de los conceptos de volumen y área de cilindros y prismas rectangulares. Esto se evidencia en el informe escrito que entregaron al final del proyecto y en el informe oral que presentaron.</p>
Pertinencia del proyecto	<p>Est. AR - Esto (el proyecto escolar) fue satisfactorio y se aprendió sobre ello, fue una buena experiencia y me gustaría seguir aprendiendo</p> <p>Est. NG- EL aprendizaje más significativo que obtuve fueron las diferentes formas de reciclar y mejora mi calidad de vida</p>	<p>El proyecto fomento en los estudiantes el desarrollo de una conciencia ambiental acerca de cómo manejar los desperdicios sólidos.</p>

TABLA 2. Análisis de los cuestionarios con preguntas abiertas y las observaciones reflexivas de las investigadoras. Est. significa estudiante. (continuación).

Categorías	Percepción del estudiante	Percepción del maestro
Pertinencia de las matemática	<p>Est. 1: Aplicamos lo que aprendimos en la clase de matemáticas para preparar el centro de reciclaje.</p> <p>Est. 2: El volumen se utilizó específicamente en el momento que se debió medir los recipientes de basura</p> <p>Est. 2: Aprendí que todo tiene que ver con las matemáticas y que las matemáticas son necesarias para nuestra vida diaria.</p> <p>Est. YM- Aprendí muchas cosas pero la más significativa fue el saber que el precio que gastas al año en agua embotellada es más alto, casi el doble, de lo que pagas por el agua potable.</p>	<p>Los estudiantes pudieron encontrar aplicación a los conceptos matemáticos en la realización del proyecto escolar, ya que expresaron que tanto el área como el volumen fueron conceptos importantes para poder crear el centro de acopio. También reconocen que para trabajar con estos conceptos la medición es fundamental.</p>
Actitudes hacia las matemáticas y ciencias	<p>Est. 1: Me ayudó..... ver la matemática diferente.</p> <p>Est. JC- Entre las tareas que realice me gustó hablar sobre el agua potable</p> <p>Est. CP- La tarea que más me gustó fue hacerles las pruebas al agua ya que las ciencias me parecen interesantes y al unir las ciencias y matemáticas pues me parece super interesante</p>	<p>Los estudiantes demostraron entusiasmo y motivación para realizar las tareas asignadas en el proyecto.</p>
Otros conceptos de las matemáticas y las ciencias	<p>Est. AR- La tarea que realice en el proyecto escolar fue cómo medir el tamaño de los zafacones, también hacer los cálculos de la cantidad que gastamos de agua potable y el agua de pluma. La más que me gustó fue hacer los cálculos porque aprendí sobre ello.</p> <p>Est. JR- La tarea que más me gustó fue ver el pH del agua, echar los químicos para saber</p>	<p>Estudiantes demostraron conocer sobre que desperdicios sólidos se pueden reciclar en el centro de acopio al preparar divisiones en el mismo para los materiales a reciclar.</p>

TABLA 2. Análisis de los cuestionarios con preguntas abiertas y las observaciones reflexivas de las investigadoras. Est. significa estudiante. (continuación).

Categorías	Percepción del estudiante	Percepción del maestro
	<p>Est. JR- El aprendizaje más significativo fue para mí fue las pruebas que se realizaron al agua, porque pudimos ver que el agua de la fuente tiene más dosis de cloro que ayuda a evitar los virus, mientras que el agua embotellada tiene más PET que en pequeñas dosis quede ocasionar náuseas y en grandes dosis vómitos entre otras reacciones</p> <p>Est. EC- porque no solamente tire fotografías sino que pude aprender sobre ese experimento que ellos realizaban, (los estudiantes obtuvieron aprendizaje mediante el trabajo que le correspondía de acuerdo con su rol, pero también aprendieron observando las tareas de ejecución de los otros grupos (roles)</p>	<p>El aprendizaje es un asunto muy personal, los estudiantes van adquiriendo conocimiento y experiencia según sus necesidades académicas (conceptuales) y no académicas (destrezas del Siglo XXI)</p>

FIGURA 1. Desarrollo del centro de acopio – “Espacio Verde”. A) Estudiantes tomando medidas de los contenedores de basura. B y C) Limpiando y pintando el espacio en el que desarrollaran el centro de acopio. D) Comunidad escolar utilizando el centro de acopio ya finalizado.



volumen de cilindros y prisma rectangulares a una situación real, en la culminación del proyecto. Más aún, como se muestra en la Tabla 2, a partir de la participación de los estudiantes en el proyecto emergieron cambios en las actitudes de los estudiantes hacia las matemáticas, ciencias y otros conceptos.

Para contestar la segunda pregunta de investigación, esto es, cuáles destrezas útiles del trabajo en equipo para el siglo XXI desarrollaron los estudiantes en su participación en el proyecto escolar, analizamos los datos cualitativos recopilados (Tabla 3). Es de conocimiento común el hecho de que la educación se transforma de acuerdo a los cambios generacionales. Lo que demandaba la sociedad del siglo pasado en el ámbito profesional no es igual a las exigencias de este nuevo siglo. En el trabajo realizado por los estudiantes éstas quedan expuestas. A través del desarrollo del ABP pudimos constatar que este es un modelo de enseñanza en el cual se pueden aplicar las destrezas de trabajo de equipo para este siglo. Esto se respalda con las expresiones de los estudiantes en las cuales se destaca que su experiencia les permitió desarrollar sus destrezas de colaboración, negociación, comunicación y planificación. De las interacciones de los estudiantes en los grupos de trabajo se hizo evidente que la colaboración fue un atributo que fortaleció el trabajo en equipo. Uno de los estudiantes lo evidencia al indicar: “para lograr hacer el proyecto escolar nos basamos principalmente en el trabajo en equipo donde todos ayudamos”. Este aspecto también fue resaltado en las observaciones reflexivas donde las investigadoras identificaron que el trabajo en equipo fluyó con éxito al momento de completar el producto deseado; cada estudiante contribuyó.

La negociación es una destreza determinante en la interacción entre los estudiantes para lograr el producto final. Surgió una situación de conflicto cuando dos estudiantes decidieron

hacer el trabajo asignado de manera individual y no permitían que el resto del grupo colaborara. La maestra tuvo que intervenir para que llegaran a un acuerdo y negociaran la integración de todos, destreza que permeó durante el resto del proyecto. Una destreza central del trabajo en equipo es la capacidad para comunicar ideas, experiencias y conocimientos adquiridos. Una estudiante, en su rol de publicista, señaló su satisfacción cuando realizó su tarea en el grupo: “la tarea que más que me gustó fue entrevistar a las personas ya que uno puede ver la preferencia y si tienen alguna duda puedes aprovechar para hablarles del tema”. Además de reconocer que la comunicación es necesaria para tareas como las entrevistas, las investigadoras subrayan el hecho de que la comunicación fue pieza clave entre equipos. Por ejemplo, los publicistas dependían del insumo de los otros equipos de trabajo, entre ellos los redactores, estadísticos y diseñadores. Se observó que la comunicación entre ellos se desarrolló efectivamente. Otra de las destrezas del trabajo en equipo que resultó relevante para el éxito de los proyectos y de la construcción de conocimiento, fue la planificación. Los estudiantes, con certeza, hicieron uso de la misma reconociendo que era pertinente planificar para cumplir con sus responsabilidades. Por ejemplo, un estudiante señaló que “la planificación fue esencial para dividir el área en la cual se ubicó el centro de acopio”. Durante las observaciones realizadas a los estudiantes nos percatamos que cada equipo de trabajo planificó minuciosamente cada etapa del proyecto para cumplir exitosamente con las responsabilidades asignadas.

CONCLUSIÓN

La estrategia de ABP brindó la oportunidad a los estudiantes de comprender, mejorar y descubrir nuevo conocimiento acerca del concepto de área de superficie y volumen de los prismas rectangulares y cilindros. Como aprendizaje adicional los estudiantes demostraron conocimientos científicos

TABLA 3. Resultados sobre las destrezas de trabajo en equipo para el Siglo XXI. Est. significa estudiante.

Percepción del estudiante	Percepción del maestro
Est. 1- Al planificar como íbamos a dividir el área donde íbamos a preparar el centro de acopio.	No fue fácil en algunos grupos de trabajo llegar a consenso aunque al final lo lograron.
Est. 1- Fue una experiencia muy buena, aprendí a trabajar en conjunto a mis compañeros para lograr lo que se nos pedía.	No se observó carga de trabajo para solo algunas personas en los grupos de trabajo, se distribuyeron bien las tareas y cumplieron con las mismas, se organizaron muy bien.
Est. JC- colaboré como publicista... realice un informe oral... pude extraer información valiosa para saber los daños del plástico e informarlo a mis compañeros	La comunicación fluyó en los equipos de trabajo casi todo el tiempo cuando se presentó alguna situación donde esta se afectaba pudieron llegar a una negociación aunque guiada por la maestra para resolver la misma.
Est. SV- Para lograr hacer el proyecto escolar nos basamos en principalmente en el trabajo en equipo donde todos ayudamos. Aprendí varias cosas que me serán útiles, reforcé conocimientos sobre conservación del ambiente, el daño que hacemos al ambiente.	El equipo de los redactores planeó cada etapa de sus responsabilidades minuciosamente. Los publicistas estuvieron muy organizados en la ejecución de sus tareas. La maestra de ciencia comunicó que había notado que los estudiantes habían mejorado mucho el trabajo en equipo al realizar los laboratorios de su clase.
Est. LR- En esta campaña publicitaria tuve el privilegio de pensar y coordinar ¿cómo impartiríamos a los estudiantes, maestros y comunidad escolar	El trabajo en equipo fluyó muy bien al momento de limpiar y organizar el área del centro de acopio, cada estudiante contribuyó.
Est. NO- Como resultado final, me ayudó a ser parte de la solución y no del problema	Los publicistas mantuvieron muy buena comunicación con los redactores ya que su trabajo dependía en ocasiones del insumo de éstos.
Est. JR- Durante el progreso del proyecto escolar estuve realizando en conjunto a mi compañera una encuesta para ver los gustos y preferencias de las personas en el agua potable y embotellada. (tareas)...la más que me gusto fue entrevistar a las personas ya que uno puede ver la preferencia y si tienen alguna duda puedes aprovechar para hablarles del tema	La colaboración y comunicación entre los planificadores y diseñadores se desarrolló efectivamente ya que el trabajo de los diseñadores dependía de los datos y recomendaciones de cómo dividir el espacio, provistas por los planificadores. Los publicistas informaron y presentaron su campaña publicitaria a la comunidad escolar.

especialmente relacionados con el manejo de los desperdicios sólidos. Más importante aún, se concientizaron en el problema existente del mal manejo de la basura y se comprometieron, a través de la creación de su centro de acopio, a mantener un ambiente adecuado en la escuela. De igual manera entendieron que el consumo de botellas de agua debe disminuir significativamente para evitar el desecho del plástico. Por otro lado, el proyecto desarrolló en los estudiantes las capacidades mentales de orden superior, entre ellas, la búsqueda de información, el análisis, la síntesis, la conceptualización, el uso crítico de la información, el pensamiento sistémico, el pensamiento crítico y la investigación. Todas ellas, herramientas esenciales para el diario vivir y el campo profesional.

De igual manera, el desarrollo del proyecto escolar utilizando la estrategia de ABP, permitió que los estudiantes desarrollaran y fortalecieran las destrezas útiles de trabajo en equipo esenciales para este siglo. Tal como sugiere Bender (2012), el ABP es la visión didáctica del siglo XXI, pues promueve el desarrollo de destrezas de comunicación, de colaboración y el análisis crítico, las cuáles se consideran ineludibles para el desempeño futuro de los estudiantes. Sus desempeños en los equipos colaborativos fortalecieron sus relaciones inter personales ya que sus destrezas de comunicación, planificación, colaboración y negociación fueron debidamente practicadas durante el desarrollo del proyecto escolar. Una vez dominado el aprendizaje de los conceptos estudiados y las destrezas de trabajo en grupo, los estudiantes pueden defender sus posiciones con relación al ambiente con evidencia y argumentos sólidos. Estas destrezas en los inicios del proyecto no estaban dominadas por lo que, en ese entonces, se sintieron un poco incómodos al saber que debían participar en grupos de trabajo, creyendo que sería difícil llegar a acuerdos colaborativos. Fue todo lo contrario, los

estudiantes aprendieron a aprender y a su vez a aprender a ayudar a que otros compañeros aprendan.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los maestros que colaboraron y apoyaron a los estudiantes para que los proyectos escolares se llevaran a cabo, a la oficina de Reciclaje del Municipio de Río Grande y al Departamento de Capacitación y Desarrollo de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados- Región Norte. También reconocemos el apoyo de los proyectos *Maximizing Yield Through Integration* (NSF 1038166), *Puerto Rico Master Math Teacher* (NSF - 0934820) de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras y a su equipo de trabajo.

REFERENCIAS

- Barrows, H. 2000. Problem/based learning: research perspective on learning interactions. Laurence Erlbaum Associates, Mahwah, NY.
- Bell, S. 2010. Project-based learning for the 21st century: skills for the future. The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues, and Ideas
- Bender, W. 2012. Project based leaning: differentiating instruction for the 21st century. Corwin, Thousand Oaks, California.
- Creswell, J.W. 2014. Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. Sage Publications, Thousand Oaks, California.
- Departamento de Educación de Puerto Rico. 2007. Estándares de contenido y expectativas de grado: Programa de Matemáticas. San Juan, PR.
- Departamento de Educación de Puerto Rico. 2013. Informe de resultados de las pruebas puertorriqueñas de aprovechamiento académico distrito escolar año académico 2012-2013. San Juan, PR.

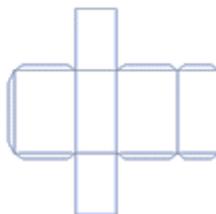
- Guzmán, M. 2014. Enseñanza de las ciencias y las matemáticas. Organización de Estados Iberoamericanos 1993. <http://www.oei.org.co/oeivirt/edumat.htm>
- Instituto Cervantes, Centro Virtual Cervantes, Metodología cuantitativa, Centro Virtual Cervantes. http://cvc.cervantes.es/ensenanza/biblioteca_ele/diccio_ele/diccionario/ Metodología_cuantitativa.htm
- Iglesias J. 2002. El aprendizaje basado en problemas en la formación inicial de docentes. *Perspectivas* 3:7. [http://campus.usal.es/~ofeees/NUEVAS/METODOLOGIAS/ABP/igless\[1\].pdf](http://campus.usal.es/~ofeees/NUEVAS/METODOLOGIAS/ABP/igless[1].pdf)
- Kohn, A. 1999. *The school of our children deserve*. Houghton Mifflin, Boston.
- Kurz, T. y J. García. 2010. Going green. *Teaching Children Mathematics* 29:138-139.
- Lucca Irizarry, N. y R. Berríos Rivera. 2009. *La investigación cualitativa: Fundamentos, diseños y estrategias*. Ediciones SM, Cataño, Puerto Rico
- Luera, G., K. Killu y J. O'Hagan. 2003. Linking math, science, and inquiry-based learning: an example from a mini-unit on volume. *School Science & Mathematics* 103:194-207.
- Segura, M. 2014. El ambiente y la disciplina escolar en el conductismo y constructivismo. *Actividades Investigativas en Educación* 5. <http://revista.inie.ucr.ac.cr/articulos/extra-2005/archivos/ambiente.pdf>.
- Maure, L.M. y Marimón, O.G. (2015). Un aprendizaje basado en proyecto en matemática con alumnos de undécimo grado. *NÚMEROS*, 90.
- Mora, C.D. 2003. Estrategias para el aprendizaje y la enseñanza de las matemáticas. *Revista de Pedagogía* 24:181-272. http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-97922003000200002&lng=es&tlng=es
- McMillan, J.H. 2008. *Educational research: Fundamentals for the consumer*. Allyn and Bacon, Boston, MA.
- Morales, C. 2011. Ponencia: El aprendizaje basado en proyectos en la educación matemática del siglo XXI.
- Muñiz, L., Alonso, P., Rodríguez, L. 2014. El uso de los juegos como recurso didáctico para la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas: estudio de una experiencia innovadora. *Revista Iberoamericana de Educación Matemática*. 39. páginas 19-33.
- National Council of Teachers of Mathematics. 2000. *Principles and standards for school mathematics*. Reston, VA.
- Pérez, Y. y Ramírez, R. 2011. Estrategias de enseñanza de la resolución de problemas matemáticos. Fundamentos teóricos y metodológicos. *Revista de investigación*, 35(73).
- Rogers, M., D. Cross, M. Gresalfi, A. Trauth-Nar y G. Buck. 2011. First year implementation of project based learning approach the need for addressing teachers orientations in the era of reform. *International Journal of Science & Mathematics Education* 9:893-917.
- Sánchez, J.C. y J.A. Fernández. 2003. *La enseñanza de la matemática. Fundamentos teóricos y bases psicopedagógicas*. Madrid, España.
- Santrock, J.W. 2006. *Psicología de la educación*. Mc Graw Hill, México.
- Sarmiento, M. 2004. *La enseñanza de las matemáticas y las NTIC. Una estrategia de formación permanente*. Tesis doctoral inédita, Universitat Rovira i Virgili.
- Schoenfeld, A.H. 2006. Mathematics teaching and learning. Páginas 479-510 en P. A. Alexander y P. H. Winne, editores. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ.

- Velázquez, L. y F. Figarella. 2012. La problemática en el aprendizaje: tres estrategias para la creación de un currículo auténtico. Isla Negra Editores, Puerto Rico.
- Vygotsky, L. 1978. *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Grupo Editorial Grijalbo, Barcelona.
- Wilhelm, J., S. Sherrod y K. Walters. 2008. Project-based learning environments. Challenging preservice teachers to act in the moment. *Journal of Educational Research* 220-233.
- Wolcott, H. 1994. *Transforming qualitative data: Description, analysis, and interpretation*. Sage, Thousand Oaks, California.

APÉNDICE 1. Preguntas incluidas en el instrumento para evaluar el aprovechamiento académico en los conceptos de área de superficie y volumen de prismas rectangulares y cilindros.

Tema: Volumen de Prismas Rectangulares y Cilindros

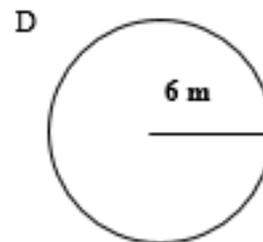
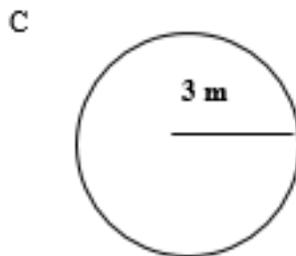
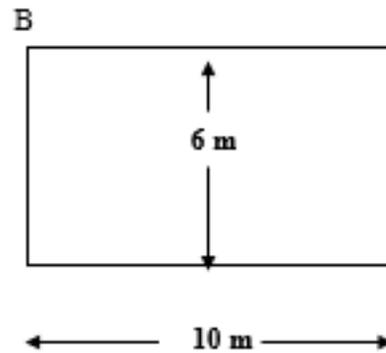
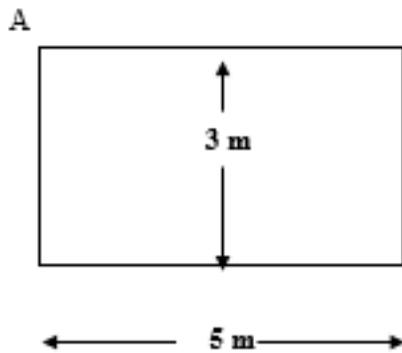
1. ¿Qué tipo de figura tridimensional se forma con la siguiente red?



- a. prisma rectangular
b. prisma triangular
c. pirámide cuadrangular
d. pirámide triangular
2. Una empresa necesita insertar unas cajas en forma de cubo, cuyas aristas miden 2 metros, en una caja cuya área de la base es 36 metros cuadrados y tiene una altura de 4 metros. ¿Cuál es el máximo de cajas que se pueden guardar en la nueva caja?
- a. 288
b. 72
c. 18
d. 36
3. Una máquina de reciclaje compacta el aluminio formando cubos con un volumen de 125 cm^3 cada uno. ¿Cuál es la medida de una de las aristas del cubo?
- a. 20 cm
b. 15 cm
c. 10 cm
d. 5 cm

APÉNDICE 1. Preguntas incluidas en el instrumento para evaluar el aprovechamiento académico en los conceptos de área de superficie y volumen de prismas rectangulares y cilindros. (continuación).

4. Los estudiantes de la escuela de la comunidad X están construyendo un huerto escolar. Un agrónomo les dijo que el huerto debe tener una profundidad de 5 cm. (.05m) de tierra fértil. Ellos disponen de 3 m³ de tierra fértil en sacos. Indica cuál de las áreas siguientes presenta las dimensiones más apropiadas para utilizar la tierra fértil, según indicó el agrónomo. sin que le falte o sobre tierra.

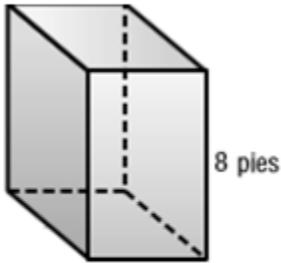


5. Si al duplicar la longitud de la arista de un cubo, obtengo un nuevo cubo cuyo volumen sea de 64 unidades cúbicas, ¿cuál es la medida de la arista del cubo original?
- 16 unidades
 - 2 unidades
 - 4 unidades
 - 8 unidades

APÉNDICE 1. Preguntas incluidas en el instrumento para evaluar el aprovechamiento académico en los conceptos de área de superficie y volumen de prismas rectangulares y cilindros.(continuación).

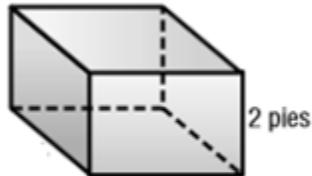
6. ¿Cuál de los siguientes prismas ocupa menor volumen?

Figura A



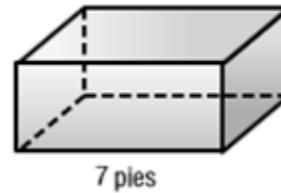
Área de la base = 30 pies²

Figura B



Área de la base = 8.1 pies²

Figura C



Área de la base = 12 pies²

- Figura A
- Figura B
- Figura C

7. Imagina que se construye un área para depositar los desperdicios sólidos generados por la comunidad escolar con la forma de un prisma rectangular que mide 3 cm de ancho, 18 cm de largo y 12 cm de alto, ¿cuál será el volumen de la basura que puede almacenar?

- 648 cm³
- 33 cm³
- 66 cm³
- 219 cm³

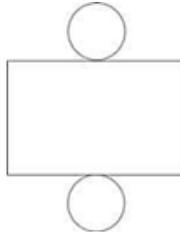
8. Un contenedor de basura en forma de prisma rectangular mide 15 pies de alto, 10 pies de largo y 8 pies de ancho. Han decidido construir otro contenedor de la misma forma, pero que su volumen sea la mitad del original. ¿Cuáles deben ser las medidas del nuevo contenedor?

- 7.5 pies de alto, 5 pies de largo, 4 pies de ancho
- 15 pies de alto, 5 pies de largo, 8 pies de ancho
- 15 pies de alto, 5 pies de largo, 4 pies de ancho
- 7.5 pies de alto, 5 pies de largo, 8 pies de ancho

APÉNDICE 1. Preguntas incluidas en el instrumento para evaluar el aprovechamiento académico en los conceptos de área de superficie y volumen de prismas rectangulares y cilindros.(continuación).

9. El grupo de octavo grado tiene un proyecto de reciclaje. Este le solicitó al Municipio que le donara recipientes para clasificar el material reciclable. Recibieron los recipientes sin ensamblar. La figura muestra la forma que tienen las redes de algunos recipientes. ¿Qué figura tendrá el recipiente cuando se ensamble?

- a. Cilindro
- b. Pirámide
- c. Prisma rectangular
- d. Cubo



10. La tapa de un recipiente cilíndrico para reciclaje tiene un área aproximada de 314 pulgadas² y un radio 10 pulgadas. La altura del recipiente es de 35 pulgadas. ¿Cuál es la capacidad del recipiente?

- a. 109,990 pulg³
- b. 10,990 pulg³
- c. 3,140 pulg³
- d. 31,400 pulg³

11. Determina el volumen aproximado de un zafacón en forma de cilindro cuya área de la base mide aproximadamente 78.5 pulgadas cuadradas y su altura es 4 pulgadas.

- a. 19.6 pulg³
- b. 246 pulg³
- c. 82.5 pulg³
- d. 314 pulg³

12. Ana tiene un programa de reciclaje en su escuela, va a utilizar recipientes cilíndricos para los desperdicios sólidos cuyo volumen aproximado es de 628 metros cúbicos y tienen un radio de 5 metros. Ana necesita acomodar los recipientes en un lugar que le proveyó la escuela, para esto tiene que determinar la altura de los recipientes y así asegurarse que puede acomodar los mismos. La altura de cada recipiente es:

- a. 20 metros
- b. 40 metros
- c. 8 metros
- d. 10 metros

APÉNDICE 1. Preguntas incluidas en el instrumento para evaluar el aprovechamiento académico en los conceptos de área de superficie y volumen de prismas rectangulares y cilindros.(continuación).

13. Un grupo de estudiantes desean realizar un “car wash” para recolectar fondos. Deciden rehusar el agua de la lluvia para ayudar con los problemas ambientales. En una semana recogieron 150 pulgadas³ de agua de lluvia y lo vertieron en un envase cilíndrico que tiene 4 pulgadas de radio. ¿Qué altura aproximadamente alcanzará el agua en el envase?
- 9 pulgadas
 - 3 pulgadas
 - 12 pulgadas
 - 6 pulgadas
14. ¿Cuánto espacio en el recipiente de desperdicios ocupa una lata que su base circular tiene un radio de 5cm y una altura de 10 cm?
- 125 cm³
 - 157 cm²
 - 785 cm³
 - 500 cm²
15. Determina el volumen que tiene un zafacón cilíndrico que se utiliza para desechar los desperdicios sólidos en el contenedor de basura de la escuela que mide 5 pies de alto y tiene un diámetro de 12 pies.
- 226.08 pies³
 - 565.2 pies³
 - 188.4 pies³
 - 2,260.8 pies³

**LABORATORIO *IN SITU* DEL CICLO DE VIDA DE LA MARIPOSA
*DANAUS PLEXIPPUS***

Minnette Rodríguez Harrison

¹Center for Science and Math Education Research

²Puerto Rico Department of Education

RESUMEN

Se implementó una intervención educativa basada en la integración de la experiencia directa con la especie de mariposa *Danaus plexippus* al curso de Biología de décimo grado. El propósito fue usar el contexto real del ciclo de vida de las mariposas y la participación activa de las estudiantes en su cuidado, como agentes motivadores del aprendizaje profundo de conceptos biológicos y, a la vez, de la reflexión acerca de la conservación de la biodiversidad y del desarrollo de biosensibilidad. Las estudiantes de la Escuela Especializada en Ballet trabajaron los conceptos con un enfoque dirigido a la conservación y protección ambiental, aplicado a temas de ecología. Se diseñaron e implementaron ocho lecciones educativas enfocadas en una corriente holística, es decir, dirigidas a promover los valores ambientales, la integración de las materias y el contacto directo con la naturaleza. Durante 24 días, las estudiantes cuidaron a las mariposas y lograron describir el proceso completo de metamorfosis. En mi experiencia, el contacto directo con la especie viva permitió desarrollar y aprender de manera efectiva, los temas de biodiversidad y respeto a la vida. De igual forma, contribuyó al proceso de alfabetización ambiental de los estudiantes.

Palabras clave: ciclo de vida, metamorfosis, biodiversidad, conservación de especies, ecología.

ABSTRACT

An educational intervention based on the integration of a direct experience with the butterfly species *Danaus plexippus* was implemented in a tenth grade Biology course. The purpose was to use the real context of the butterflies' lifecycle and the students' active participation in the butterflies' care as motivational agents for deep learning of biological concepts and in addition, the reflection on biodiversity conservation and the development of biosensibility. Students from The Specialized School of Ballet in San Juan, PR worked with concepts applied to ecological issues and focused on environmental conservation. A total of eight lessons were designed and implemented. The lessons were characterized by a holistic focus, which promoted environmental values, integrated disciplines, and required direct contact with nature. For 24 days, the students took care of the butterflies and were able to describe the entire process of metamorphosis. In my experience, direct contact with a live species, allowed the effective development and learning of the concepts of biodiversity and respect for life. This

educational intervention contributed to the process of developing environmentally literate students.

Keywords: lifecycle, metamorphosis, biodiversity, conservation, ecology.

TRASFONDO

El Proyecto de Renovación Curricular: Fundamentos Teóricos y Metodológicos del Departamento de Educación de Puerto Rico (2003) exhorta a los educadores a utilizar temas transversales e integradores del currículo para propiciar experiencias educativas en torno a asuntos de la época actual que tengan tangencia con los alumnos. El documento de renovación curricular define los temas transversales como “*un conjunto de contenidos de enseñanza que se integran a las diferentes disciplinas académicas y se abordan desde todas las áreas de conocimiento*” (p. 65). Entre los temas transversales se encuentra la educación ambiental, por lo cual, los educadores debemos promover que los estudiantes desarrollen interés hacia la naturaleza y una actitud favorable hacia la integración de los conocimientos disciplinarios con el mundo natural. Con estos propósitos se pretende que los procesos educativos realizados para aprender y profundizar en conceptos científicos, fomenten la biosensibilidad y resulten en la valorización y la contribución activa al mantenimiento de la interdependencia en nuestro planeta Tierra.

Este artículo describe una intervención educativa realizada con el grupo de décimo grado de la Escuela Especializada en Ballet Julián E. Blanco. El grupo contó con 10 estudiantes entre las edades de 15 y 16 años, todas féminas. En la Escuela, la carga académica de las estudiantes a menudo resulta exhaustiva por las horas que le dedican al ballet. Esta doble carga, académica y artística, puede ser estresante y generar desánimo hacia las clases académicas. Para atender esta situación, se fomenta la integración de materias, tanto entre las disciplinas académicas como entre el ballet y las disciplinas académicas. Enfocar el curso

de Biología desde las ciencias ambientales es una manera efectiva de lograr esta integración curricular. Esta intervención educativa está diseñada para que la experiencia directa con el ciclo de vida de la especie de mariposas *Danaus plexippus* desarrolle entendimiento profundo en los conceptos del curso de Biología y a su vez, genere una reflexión acerca de maneras concretas en que las estudiantes pueden aportar a la conservación de la biodiversidad presente en su entorno.

INTERVENCIÓN EDUCATIVA

La intervención educativa consistió de integrar el contacto directo con la especie *Danaus plexippus* (Sourakov 2008) a los procesos de enseñanza aprendizaje de conceptos transversales e integradores del currículo de biología del décimo grado. El propósito principal fue motivar y desarrollar aprendizaje profundo de conceptos biológicos como resultado de responsabilizar a las estudiantes del cuidado de mariposas monarcas durante las distintas etapas de su ciclo de vida. Por lo tanto, se esperaba que el cuidado de las mariposas motivara a las estudiantes a describir, entender y analizar el ciclo de vida de las mariposas. Esto a su vez, serviría de contexto para desarrollar entendimiento profundo de varios conceptos transversales e integradores del currículo de biología del décimo grado.

Se diseñaron ocho lecciones educativas para guiar la intervención educativa. En su conjunto, las ocho lecciones están dirigidas a trabajar los conceptos de biodiversidad, ciclo de vida, metamorfosis, conservación de especies y biosensibilidad. El diseño de las lecciones estuvo basado en tres puntos fundamentales: (1) la integración de los conceptos del curso de Biología con las ciencias ambientales a través

del contacto directo con las mariposas, (2) el uso de estrategias educativas variadas (como discusiones, comprensión de texto, redacción, poemas, dibujos, música, teatro u otras formas de expresión), y (3) la integración de actividades orientadas a la acción y a la reflexión. Cabe mencionar que una de las corrientes que más predominó en el formato de las lecciones fue la holística (Sauvé 2005). El enfoque holístico sugiere un cambio de paradigma y, por ende, una reforma educativa basada en los principios de interdependencia (Gallegos 2011). Esto se concretiza en actividades educativas que fomenten el contacto directo con la naturaleza y el desarrollo de valores ambientales. Por lo tanto, se exhortan los viajes de campo. Desde esta perspectiva, *“un aprendizaje enriquecido, integra lo cognitivo con lo emocional y la acción”* (Fernández y López 2010 p.17). Otra corriente que predominó en el diseño de las lecciones fue el constructivismo. La enseñanza constructivista sustituye el escuchar, copiar y repetir por actividades que invitan a investigar, compartir y crear (Figarella 2012). Este enfoque constructivista, nos permitió seleccionar estrategias de integración de las artes visuales para estimular la creatividad de las estudiantes y fortalecer el dominio conceptual a través de destrezas asociadas a la explicación de sus ideas (Giles et al. 2010).

Las primeras cuatro lecciones implantadas incluyeron los temas de introducción a la Ecología: principios (definiciones, énfasis como una de las ramas de la Biología), cómo interactúan los organismos (hábitat, nicho ecológico, depredador-presa, entre otros), relaciones entre las especies (simbiosis, por ejemplo, cómo la mariposa monarca se beneficia de la planta hospedera en la etapa de oruga para ser tóxica y protegerse de sus depredadores) y metamorfosis (con énfasis en el cambio de forma y diferencias en cada etapa). Por ejemplo, en la lección para repasar los principios de ecología (definiciones generales), los estudiantes crearon acrósticos utilizando los conceptos

de hábitat, nicho ecológico y ecología. Por otro lado, en la lección para estudiar cómo interactúan los organismos, los estudiantes lograron identificar a los depredadores de la mariposa monarca en cada una de sus etapas de su desarrollo y el nivel trófico de la mariposa en posibles ejemplos de cadenas alimentarias a las que pertenece (Fig. 1). Para esto, se le asignó a cada estudiante un depredador y *en forma de obra de teatro*, personificaron el depredador, identificaron el nivel trófico al que pertenecían y explicaron en cuál fase de la oruga eran depredador. El estudiante que representó al lagartijo explicó que intentaba comerse a las orugas pero sabían amargas y no volvía a comerlas. Estos ejemplos ayudaron a los estudiantes a repasar los conceptos de mecanismos de defensa de los organismos para protegerse de sus depredadores (Fig. 2). De igual forma, en la lección relacionada al ciclo de vida con énfasis en la metamorfosis de la mariposa, los estudiantes prepararon dibujos para explicar su conocimiento previo de cómo se desarrolla la mariposa monarca. Esto permitió contextualizar el contenido en un organismo real al que ellos estaban expuestos, *la mariposa*.

Las cuatro lecciones subsiguientes incluyeron a las mariposas como protagonistas. Se discutió qué ha pasado con las mariposas, por qué se han perdido estos insectos, qué beneficios nos brindan (por ejemplo, agente polinizador), y cómo las podemos conservar (biosensibilidad). Un ejemplo de estas lecciones incluyó el juego de Dominó Ambiental (Fig. 3). Los estudiantes crearon las fichas del juego reusando cajas de cereal y pintándolas según las 28 fichas que componen el juego. Luego, se redactaron 28 preguntas (una para cada ficha). El juego consiste de contestar las preguntas incluidas en las fichas. A continuación se presentan dos ejemplos de las preguntas incluidas en el juego: ¿Por qué la mariposa es importante? (conecta con beneficio de la especie), ¿Cuál es el nombre

FIGURA 1. Ejemplo de la cadena alimentaria y la mariposa monarca.



FIGURA 2. Depredadores comunes de las mariposas monarcas (Rodríguez 2012).

Tabla #1: Algunos depredadores comunes

Fases	Depredadores
Huevos y larvas	Huevos y larvas de moscas y avispas (al nacer se alimentan de los huevos de la monarca), hormigas, áfidos en las plantas hospederas y ácaros.
Orugas	Áfidos en la etapa L1 y L2 y lagartijos.
Pupas	Lagartijos y hormigas.
Mariposas	Arañas, algunas aves y en ocasiones lagartijos.

Nota: La fase más vulnerable son los huevos y larvas. Los áfidos se pueden remover de las plantas hospederas usando una servilleta húmeda.

FIGURA 3. Fichas del juego Dominó ambiental creadas para la lección Agente polinizador.



científico de la mariposa monarca? (conecta con taxonomía).

El proceso educativo se fundamentó, en gran medida, en observaciones, hechas por las estudiantes, de las distintas etapas del ciclo de vida de la mariposa (Pérez Asso et al. 2009). Por lo tanto, las clases incluían la teoría del curso de Biología (unidad de Ecología), mientras se observaba y cuidaba diariamente a los huevos, a las orugas, a las crisálidas y a las mariposas que comenzaban a nacer (Figs. 4 y 5). Para registrar los hallazgos, las estudiantes tomaron videos, fotos y completaron una hoja de desarrollo y crecimiento para ilustrar el proceso completo de metamorfosis de estos lepidópteros (Fig. 6). Las observaciones fueron enriquecidas y guiadas por diferentes técnicas de avalúo (Aguirre 2001). Por ejemplo, al inicio las estudiantes completaron la tabla titulada “Lo que conozco, deseo aprender y lo que aprendí” (CDA) para indicar el conocimiento previo (lo que Conozco), y lo que desearían aprender del tema (Deseo Aprender). Al finalizar completaron la columna de la tabla que indicaba el conocimiento adquirido (lo que Aprendí). Por otro lado, antes de comenzar las observaciones, las estudiantes realizaron un pre-dibujo que ilustraba las fases que conocían del ciclo de vida de la mariposa monarca. Para evaluar el dibujo, se elaboró una rúbrica donde se utilizaron los siguientes índices de categorización: dibujar correctamente las cuatro etapas del ciclo de vida de la mariposa, dibujar la secuencia de dichas etapas, mostrar las flechas que indican las etapas de la metamorfosis y explicar lo que ocurre en cada etapa del ciclo. Al final se elaboró un segundo dibujo (pos-dibujo) para ilustrar lo aprendido del ciclo de vida de la *Danaus plexippus* (Fig. 7).

El cuidado de las mariposas se realizó por un periodo de 24 días (desde el 15 de febrero hasta el 9 de marzo de 2012), desde la presencia de los huevos en la planta hospedera hasta el

nacimiento de las mariposas, completando todo el proceso de metamorfosis (Reeder 2011). Las estudiantes observaron la planta hospedera, *Asclepias curassavica*, con 62 huevos de la mariposa monarca. Estos huevos se observaron con lupa y a través del microscopio. Nacieron 48 larvas. Las larvas recién nacidas se observaron todos los días y se clasificaron según las etapas de las orugas. Estas fases clasifican a las orugas según los días que lleva fuera de los huevos. Las orugas con uno o dos días de “nacidas” se llaman L_1 ; con tres o cuatro días se llaman L_2 , con cinco o seis días se llaman L_3 y con siete o más días se llaman L_4 y L_5 las que están listas para pupar (McNamara 2009). Además, las estudiantes se encargaron de alimentar a las orugas con hojas de otra de sus plantas hospederas, *Calotropis procera*. La fase de oruga tardó entre siete y nueve días. Una vez las orugas alcanzaban la etapa 5 (L_4 y L_5), se colocaban en un vaso plástico con tapa, donde se acomodaban en la parte superior del vaso formando una “J”. Las 48 larvas se formaron pupas. Se perdió una pupa que se cayó y no sobrevivió. Después de ocho a diez días, nacieron las 47 mariposas (21 machos y 26 hembras). Estos organismos se liberaron en un mariposario cercano a nuestra escuela.

CONCLUSIONES

Como parte de esta intervención educativa se desarrolló e implementó una serie de lecciones para integrar la experiencia directa con el ciclo de vida de la especie *Danaus plexippus* al contenido curricular del curso de biología de décimo grado. El propósito fue promover el entendimiento profundo de varios conceptos transversales e integradores del currículo y fomentar la reflexión en torno a la conservación de la biodiversidad. La estrategia utilizada expone tanto al maestro como al estudiante, a cuidar y a proteger una especie, en este caso la *mariposa monarca*. Este contacto directo contextualiza

FIGURA 4. Estudiantes en la fase de recopilación de datos, observando las orugas a través del microscopio y anotando sus observaciones.



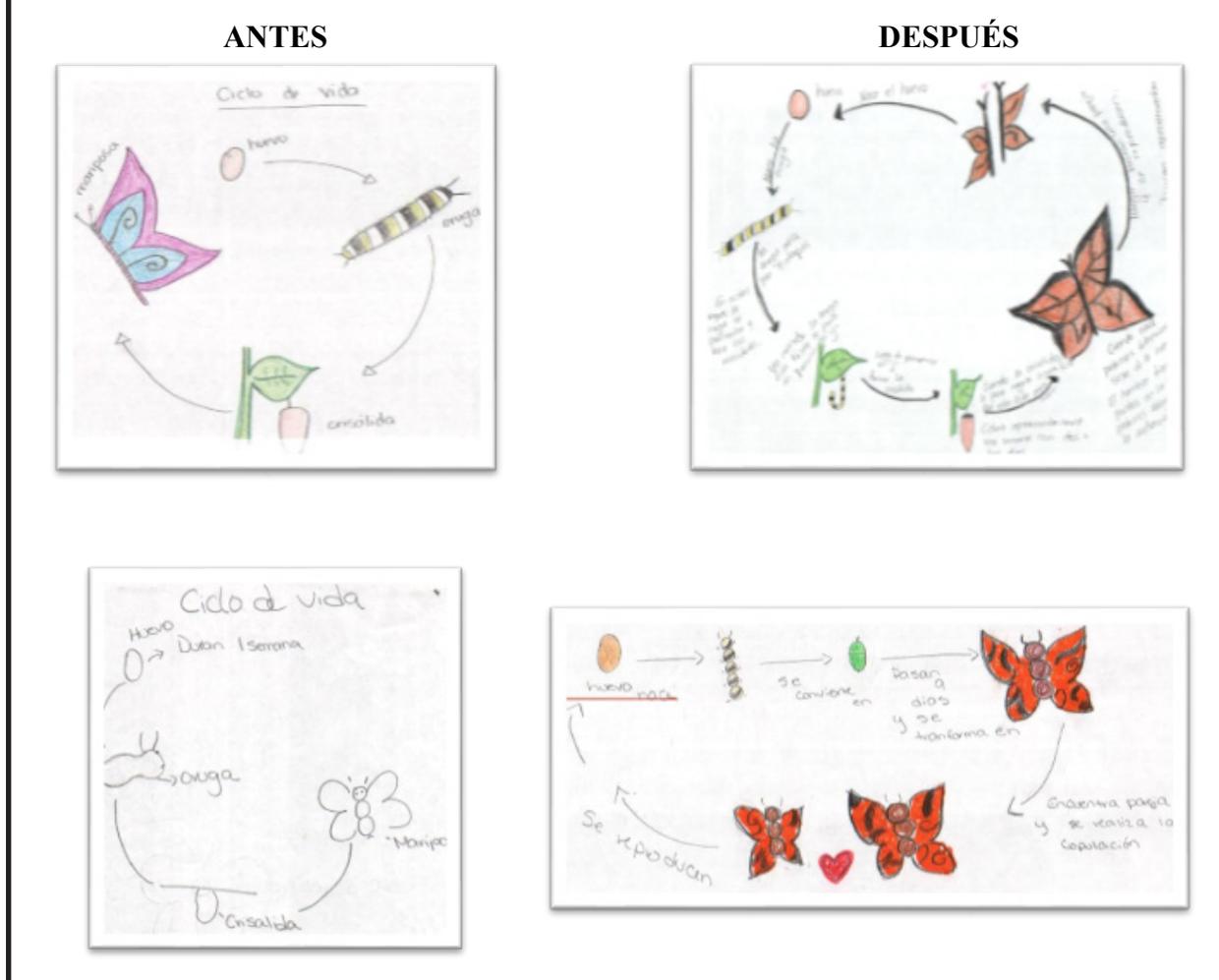
FIGURA 5. Estudiantes midiendo la masa de las orugas. La masa se midió en varios tiempos para comprobar los procesos de crecimiento de las orugas.



FIGURA 6. Fotos usadas para ilustrar las distintas etapas de la metamorfosis de las mariposas.



FIGURA 7. Dibujos del ciclo de vida de las mariposas hechos por dos estudiantes antes y después del contacto directo con las mariposas y su ciclo de vida.



los procesos de aprendizaje y provee un espacio para desarrollar la biosensibilidad y entender la interdependencia entre organismos y su ambiente. Las estudiantes lograron desarrollar destrezas científicas y pensamiento crítico, a la vez que desarrollaron aprecio y respeto por la biodiversidad como manifestación de la vida. Esta experiencia demostró ser efectiva en el proceso de alfabetización ambiental de las estudiantes. Esto va a tono con estudios de McPherson (2009) que señalan que el contacto directo con las mariposas promueve en los estudiantes el desarrollo destrezas cognoscitivas y afectivas.

AGRADECIMIENTOS

La autora expresa su agradecimiento a las estudiantes que contribuyeron con el cuidado de las mariposas monarcas, demostrando su compromiso con el ambiente. Además, expresa gratitud hacia el Centro de Investigación Educativa en Ciencias y Matemáticas (CSMER, por sus siglas en inglés y financiado por la Fundación Nacional de Ciencias – NSF #1038166) por brindar la oportunidad de realizar esta intervención educativa. Un especial agradecimiento a los expertos y colaboradores que ayudaron con las ideas y el diseño

de la intervención educativa: Michelle Borrero, Marta Fortis y Brenda Santiago. Finalmente, agradezco a Pascua Padró por su colaboración en la edición y revisión de este manuscrito.

REFERENCIAS

- Aguirre, M. 2001. Técnicas de assessment. *Assessment en la sala de clases: Modelos prácticos para obtener, organizar y presentar información del proceso de enseñanza aprendizaje*. Publicaciones Yuquiyú, Puerto Rico.
- Departamento de Educación de Puerto Rico. 2003. Proyecto de renovación curricular: Fundamentos teóricos y metodológicos. INDEC. Departamento de Educación de Puerto Rico, Puerto Rico.
- Fernández, A. y López, M. 2010. La educación en valores desde la carta de la tierra. Por una pedagogía del cuidado. *Revista Iberoamericana de Educación* 53:1-17.
- Figarella, F. 2012. El enfoque constructivista y las interacciones en la sala de clases. Segunda edición. Isla Negra, Puerto Rico.
- Gallegos, R. 2011. Pedagogía del amor universal: una visión holista del mundo. Royal Litographics, S.A., Mexico.
- Giles, R., P.V. Baggett y E.L. Shaw Jr. 2010. Becoming butterflies. *Science Activities* 46:3-6.
- McNamara, M. 2009. The life of a butterfly. Benchmark Education Company, Pelham, NY.
- McPherson, S. 2009. A dance with the butterflies: A metamorphosis of teaching and learning through technology. *Early Childhood Educational Journal* 37:229-236.
- Pérez Asso, A., J. Genaro y O. Garrido. 2009. Las mariposas de Puerto Rico. Cocuyo, Puerto Rico.
- Reeder, T. 2011. Monarch butterflies: Life cycles. National Geographic Society, Washington, D.C., USA.
- Rodríguez, M. 2012. Guía para desarrollar un mariposario escolar y algunas lecciones ambientales alineadas a la Carta de la Tierra. Tesis. Sistema Universitario Ana G. Mendez, Puerto Rico.
- Sourakov, A. 2008. Monarch butterfly, *Danaus plexippus* Linnaeus (Lepidoptera: Nymphalidae: Danainae). Entomology and Nematology Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Florida, USA.
- Suavé, L. 2005. Una cartografía de corrientes en educación ambiental. ARTMED, Sao Paulo.

UPR-IGERT'S AGENTS OF CHANGE PROJECT: BEST PRACTICES FOR INTERDISCIPLINARY WORK

Elvia Meléndez-Ackerman^{1,2}, Sofía Olivero Lora^{1,2}, Angélica Erazo¹, José Fontánez³, Khrisia Torres¹, Yankiomy Hernández¹, Cristina Vila², Elizabeth Díaz², Nicolás Correa^{2,3}, Luis Santiago⁴, Ray Rodríguez⁵ and José Seguíno⁶

¹Environmental Science Department, College of Natural Science, University of Puerto Rico, Río Piedras PO BOX 70377 San Juan PR 00936-8377

²Center for Applied Tropical Ecology and Conservation (CATEC) PO BOX 70377 San Juan PR 00936-8377

³Department of Biology, University of Puerto Rico, Río Piedras College of Natural Sciences, University of Puerto Rico, Río Piedras, PO BOX 70377 San Juan PR 00936-8377

⁴Graduate School of Planning, Planning Department, University of Puerto Rico, Río Piedras, PO BOX 70377 San Juan PR 00936-8377

⁵Para la Naturaleza, Conservation Trust of Puerto Rico, San Juan PR

⁶Department of Environmental Health, Graduate School of Public Health, University of Puerto Rico, Medical Science Campus, PO BOX 365067, San Juan PR 00936-5067

ABSTRACT

The complexity of solving environmental problems has led to the development of new programs focused on interdisciplinary research and education to develop professionals capable of integrating different kinds of information. The loss of biodiversity in the tropics is one of those complex issues that involves numerous stakeholders, particularly in the urban context. This paper describes and reflects upon an interdisciplinary group experience based on the Agents of Change component of the Integrative Graduate Education Research Traineeship Program at the University of Puerto Rico, Río Piedras Campus. This program aimed to provide PhD students with tools to conduct an interdisciplinary project in collaboration with a local organization. Our account includes an in depth discussion of the different stages that led to a collaboration with the organization *Para la Naturaleza* (a branch of the Puerto Rico Conservation Trust) which led to the development of an interdisciplinary research project evaluating social and institutional drivers of the use of native and non-native plants in urban settings. As a group we reflect upon the process of carrying out interdisciplinary science including the challenges and best practices based upon our experience.

Keywords: IGERT, agents of change, conservation, interdisciplinary, native species, social ecological systems, urban biodiversity.

RESUMEN

La complejidad de resolver los problemas ambientales ha llevado al desarrollo de nuevos programas enfocados en la investigación y educación interdisciplinaria para

desarrollar profesionales capaces de integrar diferentes tipos de información. La pérdida de biodiversidad en los trópicos es uno de esos asuntos complejos que envuelven numerosos actores, particularmente en el contexto urbano. Este artículo describe y reflexiona sobre la experiencia interdisciplinaria grupal basada en la actividad “Agentes de Cambio” componente del Programa de Entrenamiento de Educación e Investigación Interdisciplinaria Integradora en la Universidad de Puerto Rico Recinto de Río Piedras. El programa tuvo como meta el proveer a los estudiantes doctorales con herramientas para conducir proyectos interdisciplinarios en colaboración con una organización local. Nuestra narrativa incluye una discusión profunda sobre las diferentes etapas que llevaron a la colaboración con la organización *Para la Naturaleza* (una rama del Fideicomiso de Conservación de Puerto Rico) que llevó al desarrollo de un proyecto de investigación interdisciplinario para evaluar los factores sociales e institucionales que influyen el uso de plantas nativas y no-nativas en los ambientes urbanos. Como grupo, reflexionamos sobre el proceso de llevar a cabo ciencia interdisciplinaria incluyendo los retos y las mejores prácticas basado en nuestra experiencia.

Palabras clave: IGERT, agentes de cambio, conservación, interdisciplinarietà, especies nativas, sistemas socio-ecológicos, biodiversidad urbana.

INTRODUCTION

The complex nature of environmental problems calls for social ecological approaches that integrate social and natural sciences in an interdisciplinary manner (Redman et al. 2004). One example is the issue of biodiversity loss brought about habitat transformation, global changes, and the action of introduced non-native species and over exploitation by humans which is often at the core of national and international discussions on world sustainability (Millennium Ecosystem Assessment 2005; Pongsiri and Roman 2007). At its roots, addressing strategies to prevent or reduce biodiversity loss is an endeavor that requires interdisciplinary approaches that gather not only information about the ecological processes that regulate biodiversity but also about the social, economic, and institutional factors that drive human behaviors and decisions that influence biodiversity (Machlis and Forester 1996, Forester and Machlis 1996). However, building effective interdisciplinary groups (i.e., those that allow adequate flow and sharing of information and where the interdisciplinary

goals supersede disciplinary ones) is a challenge in and of itself.

In 2012, a group of faculty, professors and professionals participated in a research experience undertaken as part of the University of Puerto Rico at Río Piedras’ Integrative Graduate Education Research Traineeship Program (here after UPR-IGERT) and provide a reflection on this process. Here the group describes this experience which centered on a UPR-IGERT component named “Agents of Change” (see UPR-IGERT Case Study) which introduces graduate students in the Environmental Sciences Department to the concept and process of conducting interdisciplinary research, and collaborating with peers from distinct disciplinary fields to develop interdisciplinary products. The group’s research work was titled “*Social and institutional drivers of residential biodiversity within an urban watershed in Puerto Rico*”. In this reflection we describe the nature and goals of the program, the historical context of our interdisciplinary process, our final products, and use these elements to describe key factors that facilitated or challenged

interdisciplinary collaboration. We then provide recommendations regarding best practices for interdisciplinary collaboration based on our experience.

UPR IGERT CASE STUDY

Creating Agents of Change

The UPR-IGERT was an innovative program funded by the National Science Foundation and established with the intent to develop an academic environment conducive to interdisciplinary collaboration under the theme Human Natural Systems in the Urbanizing Tropics (<http://www.igert.org/projects/149>). A very important component for this program is an activity named Agents of Change. This component of the UPR-IGERT program required all trainees to conduct a one-year interdisciplinary group project that provided practical environmental solutions to a local partner organization. Students were required to apply integrated knowledge in solving a complex environmental problem in collaboration with a local organization (i.e., government agency, non-profit organization, or private group) working on sustainability issues. To that effect, “Agents of Change” required students to work under the guidance of a faculty graduate mentor, choose an organization and project to work on, and take part in six *IGERT Integrative Core Courses* with the following themes: 1) *Human Dimensions of Environmental Change*, 2) *Policy and Ethics for the Environment*, 3) *Urban Environment, Expansion, and Design*, 4) *Socio-Ecological Models and Ecological Informatics*, 5) *Ecosystem Services and Ecological Economics*, and 6) *Communication on the Environment*. All courses were inherent to the IGERT Program’s central theme and designed to provide capacity building experiences that can be applied to the overall group project. As such, IGERT students needed to be able to integrate and apply the lessons learned in their core courses to their

Agents of Change projects. The outcomes of this dual process of conceptual and applied learning include a final academic report and products inherent to each specific project that are provided to participating organizations or stakeholders as a contribution to environmental problem solving. One of the overarching goals of the IGERT experience was that the students and their efforts needed to lead to meaningful changes (i.e., become ‘agents of change’) within the local community.

Interdisciplinary Process: Beginnings, Development, and Implementation

Defining the problem and selecting the Organization - Our Agents of Change project took place on the Caribbean island of Puerto Rico. The research we carried out was conducted in conjunction with the San Juan ULTRA Network. The San Juan ULTRA Network (Urban Long Term Research Area; www.sanjuanultra.org) is an interdisciplinary research organization that studies the San Juan Metropolitan area using social-ecological approaches and seeks to address sustainability issues that can help improve urban planning and environmental policy. In its beginnings (2011), San Juan ULTRA used the urban Río Piedras watershed (~49 km²) as the unit of study to address questions related to how social-economic and biophysical factors influence human and ecological vulnerability and to characterize social structures and organizational networks that support the social and ecological functions of this urban watershed. For example, one recent SJ ULTRA study indicated that 68% of plant species of residential yards within the watershed are introduced species, most of them being ornamental shrubs (Vila et al. 2014). While the preponderance of non-native plants seems to be a common phenomenon of urban sites (Dunn and Henegan 2011), many scientists and practitioners advocate in favor of the use of native species in urban landscapes (Town and Country Planning Association 2004, Tallamy

2007). The potential role of residential yards to boost conservation efforts in urban settings is recognized as an important contribution to urban biodiversity, particularly when private yards can comprise a large portion of urban green spaces (Goodard et al. 2010).

Using native species over non-native ones in private yards may be important for native wildlife conservation and help increase habitat connectivity for native biota, and may reduce the potential for new species invasions into natural habitats (Tallamy 2007). While local initiatives that encourage the use of native plants by Puerto Rican residents do exist, it is clear that the use of non-native plants in private spaces is widespread within the San Juan metropolitan area. Although ecological drivers often dominate species distributions in natural settings, urban biodiversity is assumed to be heavily regulated by social-economic and institutional drivers (Kinzig et al. 2005). Therefore, using social-ecological approaches to understand the factors that influence the use of native vs. non-native plants and the role of residential green spaces in promoting conservation efforts has emerged as a research priority within the San Juan ULTRA group. San Juan ULTRA kept a close connection with the IGERT program and building upon this research idea, investigators within the San Juan ULTRA program contacted one of the UPR-IGERT students about the possibility of carrying out a project addressing this issue of native vs. introduced plants in residential yards via the Agents of Change project. Concerning a local partner organization for this project, the non-profit organization Conservation Trust of Puerto Rico's new unit *Para la Naturaleza* (formerly known as the Conservation Trust of Puerto Rico, www.paralanaturaleza.org) was a logical choice. *Para la Naturaleza* is among the oldest and largest conservation entities in Puerto Rico and also a San Juan ULTRA partner. For over 20 years, *Para la Naturaleza* has given away thousands of native trees to

local residents in an effort to increase awareness of native species among local residents and improve reforestation efforts on private lands by engaging common citizens. Through their Reforestation Program, the project "*Árboles más Árboles*" addresses conservation from a social-ecological perspective. Both *Para la Naturaleza* and San Juan ULTRA already collaborated and work with IGERT-Puerto Rico.

Developing a Work plan and Implementation- The project idea was first presented to an IGERT student (Olivero, MSc in Management and Conservation of Tropical Forests and Biodiversity), who subsequently engaged two more IGERT students (Erazo BSc, Environmental Science and Fontánez, MSc Public Health). Two undergraduate researchers were integrated later on (Torres and Hernández - Environmental Sciences). The initial group for the Agents of Change project was made up three graduate students, two undergraduates, and the faculty mentor (Meléndez-Ackerman, PhD in Ecology and Evolution, also a San Juan ULTRA researcher). The group first met in the summer of 2012 to talk about the project, the potential research questions, the conceptual framework (Figs. 1 and 2), expected timeline, anticipated products, methodologies, and potential strategies. Research questions were defined and chosen by consensus. An initial heavy bias toward the ecological sciences was balanced by integrating two San Juan ULTRA researchers (Luis Santiago, PhD Urban Planning, José Seguinot, PhD in Geography and Juris Doctor) with expertise in the development of social surveys and the Institutional Review Board for Human Subjects (IRB) process, the latter of which is required in studies that use human subjects. Luis Santiago was instrumental in the development of survey questions, testing the questionnaire instrument and the subsequent revision of changes, as well as assisting in the training of participants in how to conduct interviews. José Seguinot and Luis

FIGURE 1. Conceptual Framework for the study of Urban Biodiversity (modified from Kinzig et. al. 2005.) used to determine the social-institutional drivers of plant species composition in residential areas of the Río Piedras watershed. Questions addressed by this model are the following: 1) What is the knowledge of residents about the origin of their plants and native species of Puerto Rico?, 2) What is the perception or preference towards native plant species?, 3) What is the willingness of residents to cultivate native plant species, 4) What is the available knowledge and through which mechanisms residents acquire information for native plant species conservation?, 5) How accessible are native plant species to residents and how they obtain their plants?, 6) What are the gaps in the information flow between stakeholders?

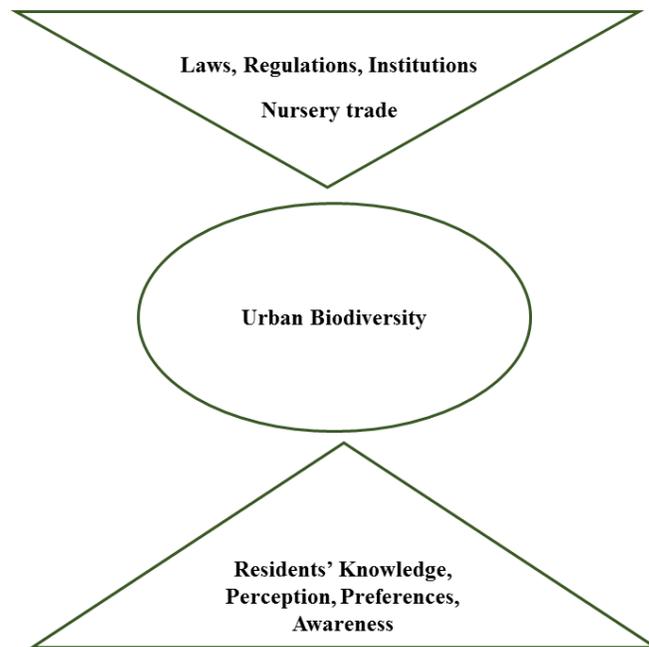
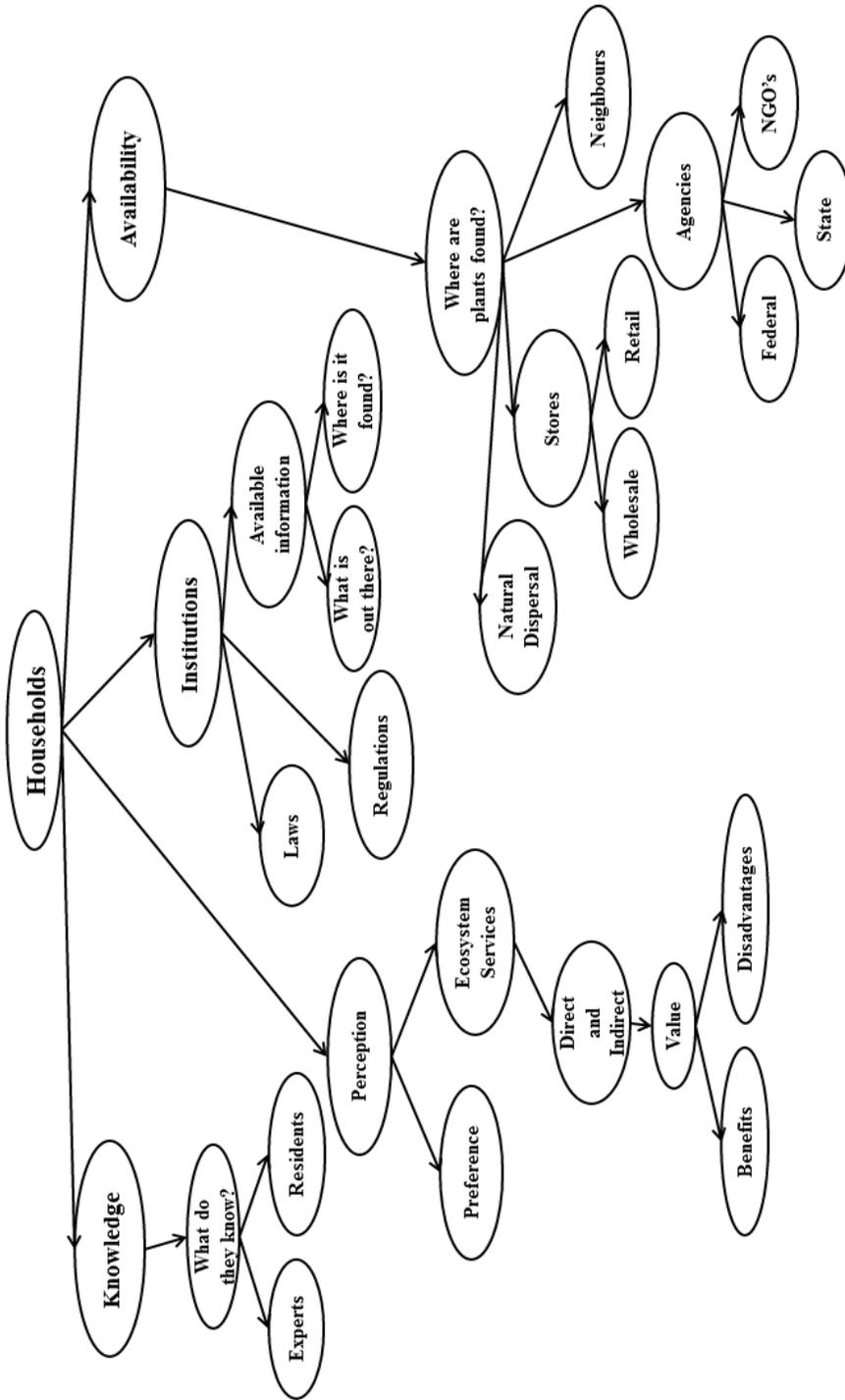


FIGURE 2. Conceptual map showing the relationships between resident behaviors, social characteristics and institutional factors on the generation of yard management decisions.



Santiago took the lead in the IRB submission process. The remainder of the first six months were spent on organizational activities which centered around several actions: engaging *Para la Naturaleza* (including the discussion of common goals and interests); developing a research proposal that could fit the combined goals of *Para la Naturaleza*, Agents of Change, and San Juan ULTRA (Table 1); generating a residential survey which later became our research instrument; completing the IRB submission; and preparing a work schedule which later became the group's main guideline for implementing the research project. Group meetings took place on a weekly basis to impel and evaluate project progress (measured as weekly objectives). This meeting frequency was kept for the first 9 months. Survey implementation began in January 2013 and completed in October 2013.

Project Products

This activity ended up generating a variety of products and achievements some of which were anticipated and some of which were not. Here we provide a descriptive list of achievements obtained thus far.

Class Projects - Three IGERT graduate students were required to generate five independent projects related to the overall Agents of Change Project. In the *Human dimensions of Environmental Change* course, students received an introduction to social-ecological research concepts (including conservation issues, ecological knowledge, and questionnaire development) and took the lead in compiling the first draft of the research proposal for the Agents of Change project. In the *Policy and Ethics for the Environment* course IGERT students were able to evaluate existing environmental laws within the Puerto Rico Jurisdiction that relate to the use and exploitation of natural resources and produce a list of federal and state laws that relate to the

use and trade of plants within the island. We are currently evaluating the extent by which these laws influence the use of native and non-native species at the residential scale. For the *Communication on the Environment* course students elaborated a communication plan for our partner organization, *Para la Naturaleza*, which could help promote the use of native plants using communication and dissemination strategies learned through this course. Once we complete the ongoing research, the group will be able to re-address this plan and incorporate recommendations that are justified by our research results. For the *Ecosystem Services and Ecological Economics* and the *Socio-Ecological Models and Ecological Informatics* courses, IGERT students used the San Juan ULTRA database to develop two preliminary analyses related to urban biodiversity at the yard scale. In one analysis, students evaluated the potential ecological benefits (economic and food provision) to human communities, focusing on the abundance of 27 food species that are known to occur within residential yards. Almost one-half of the residents mentioned that they grow at least one of these selected products in their yards. Overall, this study showed that there is significant economic value associated with food grown in residential yards but that there are spatial differences across the watershed in the distribution of this value. The group will be working on additional analyses to be able to publish this course project. In the second analysis, IGERT students created maps using attributes related to the state of yard vegetation (percent green cover, number of trees, number of plants and native stems).

Workshop - In an initial meeting with *Para la Naturaleza* staffs, three main needs were identified for collaboration: 1) aid in the development of a new guide of native tree species, 2) information about native shrubs, and 3) a strategy to shed light on whether or not their native tree initiative, "*Arboles más Arboles*", could have social or institutional

TABLE 1. Overall goals of organizations involved and specific objectives within the Agents of Change interdisciplinary project.

Organization	Overall Goals by Organization	Objectives for Agents of Change
Agents of Change	The main goal of Agents of Change Project is to provide a collaborative interdisciplinary experience that addresses contemporary environmental problems of relevance to local organization.	<ul style="list-style-type: none"> • Identify local organization. • Identify needs of local organization. • Develop a proposal that addresses need of local organization. For the purpose of this proposal that need was <i>the improvement of native planting initiatives in urban sites using a social-ecological approach.</i> • Integrate lessons learned IGERT courses in proposal development and implementation. • Carry out proposal. • Write report and communication plan.
San Juan ULTRA	The overarching goal of the San Juan Urban Long Term Area (ULTRA) is to obtain a holistic understanding of how environmental, social, and economic factors in the city of San Juan using a socio ecological system research approach (i.e. that cities are products of human nature interactions) and put this science at the service of the city.	<ul style="list-style-type: none"> • Identify environmental problem of societal importance. • Develop a proposal that addresses societal needs. For the purpose of our study that need was <i>the potential to incorporate residential yards in conservation efforts.</i> • Carry out proposal. • Write four publications addressing the role of knowledge, preferences, plant availability (nursery trade, exchanges, dispersal) and institutional factors (laws, regulations, covenants) on the types of plants kept in residential yards and a synthetic publication on how these factors may influence yard biodiversity dynamics. • Use products toward one dissertation factor and two senior theses.

TABLE 1. Overall goals of organizations involved and specific objectives within the Agents of Change interdisciplinary project. (continued).

Organization	Overall Goals by Organization	Objectives for Agents of Change
Conservation Trust of Puerto Rico	Mission is to secure functional and healthy ecological systems of the islands of Puerto Rico and to inspire its people to be stewards of nature and together realize our shared social, economic and quality-of-life goals carried out by protecting natural areas; constituting conservation easements; restoring, rehabilitating and preserving historical structures; developing educational programs that foster the protection of natural areas; and directing a tree nursery program for native and endemic species, among others.	<ul style="list-style-type: none"> • Develop strategies that integrate higher education students to the Conservation Trust of Puerto Rico (now <i>Para la Naturaleza</i>) through many initiatives sponsored under the organization's volunteer program. • Improve guide on recommended native trees for planting. This would involve researching life history information on selected species.

limitations. Considering the first identified need, a workshop was coordinated for volunteer students from the introductory course in Environmental Sciences to aid in the description of plants for the native species guide. A total of ten undergraduates and two IGERT graduate students participated in this workshop. Student participants increased their knowledge about native species of Puerto Rico and how to adequately describe a species (Fig. 3a). The different forms of taxonomic information available were reviewed and each person described one or more species in terms of their general physical characteristics, their interactions with wildlife, and the main uses they provided to people and

the environment. At the end of the workshop, we turned in descriptions of 26 species to *Para la Naturaleza*, to be revised and eventually published in their local urban native plant nursery.

Dissertation/Theses - The work generated by the Agents of Change project contributed to two undergraduate senior theses and a PhD Dissertation chapter for students in the Environmental Science Department of the University of Puerto Rico, Río Piedras Campus, undergraduate and graduate programs.

Project dissemination – To this date, this work has generated one published paper

FIGURE 3. Agents of change activities involving students. A) Native Plants Guide Workshop, a joint effort of Agents of Change and Para la Naturaleza. B) Undergraduate student, Peter Delgado conducting a household survey.



(Torres et al. 2016) two manuscripts for publication (including this one) and two more are expected. Students have generated two poster presentations (one undergraduate and one PhD) and one oral presentation at the Ecological Society of America directly related to these activities. Two IGERT students also presented posters on interdisciplinary themes at the Fourth IGERT Conference on Sustainability (C4SI3) held at Portland State University and

the one IGERT student on September 2016 (C4SI4), and shared their Agents of Change experience with the sustainability IGERT community. A brochure describing the Agents of Change Project was produced as part of the San Juan ULTRA information dissemination strategy.

Research Instrument and data matrix - The group prepared a research questionnaire totaling

50 questions that explore among other things the residents' knowledge and preferences about the plants that they keep in their yards, the types of plants that residents cultivate based on their origin, habit and utility, and how residents obtain their plants. The survey also explores residents' knowledge about local laws and regulations concerning the use of native plants and includes information about the social-economic profiles of households. This survey has been shared with researchers in the US.

Participating researchers – Eighteen investigators were involved in this project (3 faculty members, 5 graduate students, one technician, and 10 undergraduate students). The number of undergraduate students engaged in this activity has been variable between time periods and has included paid student researchers from the Center for Applied Tropical Ecology and Conservation and volunteers (Fig. 3b).

CHALLENGES

In designing the Agents of Change project, one challenge was to be able to integrate and meet the goals of three organizations into one comprehensive project. The academic goals of IGERT are by default student oriented and require the development of course projects which may or may not relate to the actual Agents of Change student project. For our group, four of the six courses were easily integrated into the project but two were not. This mismatch required students to engage in satellite mini-projects that extended the timeline of the Agents of Change project considerably. On the positive side, the students did acquire extra skills, and at least one project resulted in an academic publication. In meeting with our partner organization *Para la Naturaleza*, it was important to understand their immediate and long-term needs to ensure that projected products would be relevant. Our partner

organization also had additional needs that the group was able to fulfill as part of our collaboration agreement (see workshop). At the same time, the group ensured that the San Juan ULTRA network was informed of this initiative which has been critical to the full implementation of the Agents of Change research project looking at what drives native and non-native yard plantings as originally envisioned by San Juan ULTRA.

One of the main challenges of working in an interdisciplinary team is effective communication. Communication amongst professionals from different disciplines is often a challenge invoked by newly formed interdisciplinary groups (Campbell 2005). The IGERT courses helped graduate students build a common language to communicate with lawyers, sociologists, economists and ecologists. Terminology and communication skills learned throughout these courses were transferred to the group meetings which were held weekly during the first six months of our interaction. It was during this time period when communication was most effective and interaction between graduate and undergraduates was most frequent. It was also during this time that all objectives were met on schedule. Every participant had objectives to meet which they delivered weekly. During the second half of this project (March 2013-present), conflicts in academic schedules among student participants have made it impossible for all participants to meet at once. Meetings had to be split between graduate and undergraduates which made the flow of information less effective and limited the interaction between graduate and undergraduate students when discussing the science behind the work. The group planned to return to these meetings once the data collection finished to identify weekly communication and setting of priorities will be critical to the final interdisciplinary outcomes of this process.

Interdisciplinary research scholars have indicated that variation in the distribution of knowledge among collaborating individuals (i.e., knowledge differentials) often translate into power differentials that may notably influence interdisciplinary research and prevent the development of true interdisciplinary communities (Campbell 2005; MacMynowski 2007). Knowledge power differentials were evident in our group in two ways. First, the group was made up of individuals at different stages in their career (graduate and undergraduate students, faculty, and one professional). Second, there has been a clear imbalance in the representation of social vs. natural scientists in the group. We think that a positive outcome of this collaboration has been the recognition of this imbalance. Half-way through our process it was evident that the group was relying on the leadership of a faculty mentor to carry the project through. This issue was talked about and internal changes were made such that students would take a more active leadership role. The group also recognizes that the process of shared inquiry inherent to the interdisciplinary process needs to be continuous for it to be effective in its outcomes. We are therefore committed to achieving a better integration of our social scientists and potentially additional experts throughout the process especially during the phase of data analysis and discussion of results.

Our initial group lacked the necessary personnel to undertake the data collection and management work once the field portion of the project started. Even when the logistics were discussed at length, the undertaking of this project was larger than expected in terms of time. Fortunately, the group was very diligent at recognizing and addressing this problem and managed to engage two additional faculty researchers. In addition the group was able to recruit additional undergraduate students and paid personnel for this project. Finding additional monetary resources has been critical

to the success of this project; this task was fulfilled by the faculty mentor.

INTERDISCIPLINARY ACHIEVEMENTS AND BEST PRACTICES

We were definitely able to form in a short period of time a collaborative group that has many if not all of the characteristics that one could expect from an active scientific community (e.g., sharing a subject focus and assumptions about a study system; Lélé and Nogarrd 2005). Making this community an interdisciplinary one has not been without challenges, but we consider it a work in progress that has managed to achieve many of the landmarks expected by the UPR-IGERT program and its Agents of Change interdisciplinary element (University of Puerto Rico-Río Piedras Campus 2011). Our group was able to tackle a problem that is increasingly seen as one that needs to be addressed from an interdisciplinary perspective that unites scholars from the social and natural sciences (Mascia et al. 2003; Thornhill 2003). Through this endeavor all participants have been able to work across natural and social science disciplines to address biological conservation issues using a variety of strategies that include participating in interdisciplinary courses, becoming familiar with interdisciplinary and disciplinary literature from the natural and social sciences, and networking with faculty from different disciplines. Most importantly participants used a problem-based interdisciplinary approach that has immediate application to the real and global problem of biodiversity loss due to introduced species. While the Caribbean region is recognized as a major biodiversity hotspot (Myers et al. 2000), dealing with the threat of introduced species has not necessarily been at the fore-front of local policy. By using a social-ecological approach we will be able to address the role of the social-economic context on the potential success of conservation initiatives that

attempt to influence the local flora composition (via increases in the use of native plants). In building an interdisciplinary community that combined social and natural scientists we have become aware that to consider the use of native species a subject of societal importance as claimed by many ecologists and policy documents (e.g., Millennium Ecosystem Assessment 2005) needs to be accompanied by more explicit justifications that actually show a link between the use of native species and the provision of ecosystem services to the broader population (Dearborn and Kark 2010). The value of biodiversity is an argument commonly used by ecologists in the group to justify its importance in terms of possible public policy implications. Discussions with social scientists and planners have led ecologists to question whether this argument is sufficient to have an effect on public policy discussions. Several additional benefits, perhaps more immediate and direct to users, have been discussed. These include the role of native species in broader ecosystem functions necessary for ecosystem service provision.

The large participation of individuals with various levels of experience (i.e., undergraduates, graduate students, faculty, and one technician) in this project was a challenge from the perspective of knowledge/power distribution and its effects throughout this process (see below) but it was also deemed as a strength that outweighed challenges. Graduate students improved on their mentoring skills as they acted in many ways as mentors and role models to participating undergraduates. In the end, undergraduate students developed a sense of ownership of this project that in many ways equals that of participating graduate students. For undergraduate students, all but two had their first research experience. Integration of social sciences with conservation research has been identified as a necessity by scholars in this field which is often biologically-biased (Mascia et al. 2003; Campbell 2005; Thornhill 2013).

Doing biodiversity conservation research from a social-ecological perspective was unexpected for most participants regardless of their prior experiences and is helping them develop skills to cross between disciplines. For example, all participants were required to take the online workshop “Protecting Human Research Participants (<http://phrp.nihtraining.com/users/login.php>, sponsored by NIH) because a large portion of this research project uses human subjects. For most participants, the IRB process was new and Agents of Change allowed them to become familiarized with it.

As a group we considered that various elements have been critical to the success of this group. First, there was the presence of individuals willing to take on leadership roles without hampering the flow of information across the group and allowing all individuals to make meaningful contributions. Second, there was a good communication between participants allowing for the development of the kind of professional trust that is essential for interdisciplinary collaboration. Our communication strategies (one to one meetings and web-based information sharing schemes) allowed for the group acquisition of scientific information through formal and informal ways. The group setting clear goals about what final products were expected from the very beginning has served as an effective compass to guide group action. The group agrees that for a project like the one described here with elements from the social and natural sciences, it would have been more appropriate to have two leading faculty mentors representing the social and ecological sciences. Our discussions uncovered that it took more time for undergraduates to understand, the relevance of their individual contributions to the whole project. Our reflections revealed that the preparation of the conceptual map (Fig. 2) for the project was left to the graduate students which then had to explain it to the group. In retrospect, we all felt that this

activity should have also been an area where all participants had a contribution and that alone would have brought everybody to the same knowledge and confidence level faster. One area of uncertainty is how to define what the group boundaries should be as the group expands (i.e., what is the optimal number of participants?). A larger number of participants makes effective communication challenging but it is a limitation that can be dealt by expanding the core of leaders within the group to balance organizational duties effectively among the larger group of people.

The Agents of Change requirement has been technically fulfilled for participating graduate students in the UPR-IGERT program. Nevertheless, our Agents of Change group is very much alive and in constant communication, still working towards all of the goals that were identified from the very beginning of the project. These goals include finishing up integrated research studies on the social aspects of yard biodiversity conservation that are now linked to the larger interdisciplinary group of the San Juan ULTRA network.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by the Integrative Graduate Education and Traineeship (IGERT. Funded by the National Science Foundation – NSF #0801577), NSF-CREST-CATEC (HRD- HRD-0734826), NSF San Juan ULTRA ex (DEB-0948507), The Honors Program, The Graduate School of Planning and the Department of Environmental Sciences at UPR Río Piedras and The Graduate School of Public health at UPR Medical Sciences Campus. We thank Chris Nytech for his insightful comments to prior versions of this manuscript and Peter Delgado, Stella González, Alejandra Bonilla, Karla López, Sofianyeli Colón and

Jesenia Fontánez for their support and time volunteered to this project. We also thank Alonso Ramirez and Mildred Alayón for their helpful comments on prior versions of this manuscript.

LITERATURE CITED

- Campbell, L.M. 2005. Overcoming obstacles to interdisciplinary research. *Conservation Biology* 19:574-577. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1523-1739.2005.00058.x/full>
- Dearborn, D.C., and S. Kark. 2010. Motivations for conserving urban biodiversity. *Conservation Biology* 2:432-440. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1523-1739.2009.01328.x/full>
- Dunn C.P., and L. Heneghan. 2011. Composition and diversity of urban vegetation. Pages 103-114 in Niemelä, J., and J. H. Breuste, editors. *Urban ecology: patterns, processes and applications*. Oxford University Press, New York, USA.
- Forester D.J., and G.E. Machlis. 1996. Modeling human factors that affect the loss of biodiversity. *Conservation Biology*. 10:1253-1263. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1523-1739.1996.10041253.x/full>
- Goddard M.A., Dougill A.J., and T.G. Benton. 2010. Scaling up from gardens: biodiversity conservation in urban environments. *Trends in Ecology and Evolution* 25:90-98. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169534709002468>
- Kinzig A.P., Warren, P., Martin, C., Hope, D., and M. Katti. 2005. The effects of human socioeconomic status and cultural characteristics on urban patterns of biodiversity. *Ecology and Society* 10(1): 23. URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art23/>
- Lélé, S., and R.B. Norgaard. 2005. Practicing interdisciplinarity. *BioScience* 55:967-975. URL: [http://www.bioone.org/doi/abs/10.1641/0006-3568\(2005\)055%5B0967:PI%5D2.0.CO%3B2](http://www.bioone.org/doi/abs/10.1641/0006-3568(2005)055%5B0967:PI%5D2.0.CO%3B2)

- Machlis, G.E., and D.J. Forester. 1996. The relationship between socioeconomic factors and biodiversity loss: first efforts at theoretical and quantitative models. Pp: 121-146 in Szaro, R. and D. W. Johnson, eds., *Biodiversity in managed landscapes: theory and Practice*. Oxford: Oxford University Press., USA.
- Mascia, M.B., Brosius, J.P., Dobson, T.A., Forbes, B.C., Horowitz, L. McKean, M.A. and N.J. Turner. 2003. Conservation and the Social Sciences. *Conservation Biology* 17: 649-650. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1523-1739.2003.01738.x/full>
- MacMynowski, D.P. 2007. Pausing at the brink of interdisciplinarity: power and knowledge at the meeting of social and biophysical science. *Ecology and Society* 12(1):20. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art20/>.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis*. Island Press, Washington, DC. URL: <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.354.aspx.pdf>
- Myers N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B., and J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Pongsiri, M.J., and J. Roman. 2007. Examining the links between biodiversity and human health: an interdisciplinary research initiative at the U.S. Environmental Protection Agency. *EcoHealth*, URL: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10393-007-0087-3>
- Redman, C.L., Grove, J.M. and L.H. Kuby. 2004. Integrating social science into the long-term ecological research (LTER) network: social dimensions of ecological change and ecological dimensions of social change. *Ecosystems* 7:161-171. URL: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10021-003-0215-z>
- Tallamy, D. 2007. *Bringing nature home: how native plants sustain wildlife in our gardens*. Timber Press Inc. Oregon, USA.
- Torres-Camacho, K.A., Meléndez-Ackerman, E.J., Díaz, E., Correa, N., Vila-Ruiz, C., Olivero-Lora, S., Erazo, A., Fontánéz, J., Santiago, L., and J. Seguinot. 2016. Intrinsic and extrinsic drivers of yard vegetation in urban residential areas: implications for conservation planning. *Urban Ecosystems* 2016: 1-11. URL: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11252-016-0602-9>
- Town and Country Planning Association. 2004. *Biodiversity by design: a guide for sustainable communities*. London, UK. URL: <http://urbed.coop/sites/default/files/Biodiversity%2520by%2520design.pdf>
- Thornhill A. 2013. Social scientist and conservation biologists join forces. *Conservation Biology*, 17:1475-1476.
- Vila C, E. Meléndez-Ackerman, R. Santiago, D. García-Montiel, L. Lastra, C. Figuerola, and J. Fumero. 2014. Plant species richness and abundance of residential yards across a tropical watershed: implications for urban sustainability. *Ecology and Society* 19(3):22. URL: <https://www.ecologyandsociety.org/vol19/iss3/art22/>
- University of Puerto Rico-Río Piedras Campus. 2011. *UPR-IGERT Handbook 2011*. Department of Environmental Sciences IGERT Program. URL: http://envsci.uprrp.edu/uploads/IGERT_main/Forms/UPRRP_IGERT_HANDBOOK_FINAL.pdf

INVESTIGATING THE WATER BALANCE AND QUALITY OF A TROPICAL URBAN SEWERSHED THROUGH COLLABORATIVE LEARNING

Christopher J. Nytch^{1}, Jodany Fortuné¹, Molly M. Ramsey¹, Joel Meléndez¹, Mayra A. Sánchez García¹, Ana V. Arache², José A. Fontánez Pérez^{1,3}, and Jorge R. Ortiz Zayas¹*

¹Dept. of Environmental Sciences, University of Puerto Rico, Río Piedras, PO Box 70377, San Juan, PR 00936-8377, USA

²Vieques Satellite Office, Syracuse University Center for Sustainable Community Solutions/ Environmental Finance Center, 727 E. Washington St., Syracuse, New York 13244

³Dept. of Biology, University of Puerto Rico, Río Piedras, PO Box 23360, San Juan, PR 00931-3360, USA

ABSTRACT

Urban water balances are influenced by human land use activities and by infrastructure built for potable, sanitary, and stormwater purposes. Water balances have been constructed for several temperate cities, yet there is a lack of understanding of the inflows and outflow of water in tropical urban settings. As part of a graduate course in environmental hydrology, the objective of this project was to investigate the water balance and environmental quality of the Afluente Norte sewershed, a small tributary of the Quebrada Juan Méndez in the Río Piedras sector of San Juan that is hydrologically connected to the San Juan Bay Estuary. Working with a class of undergraduate environmental science students, a study was carried out for one month during the dry season, in which the water inflows and outflows from the sewershed were measured or estimated. To calculate the water balance, a continuity equation was applied using empirical data, and proxy values determined from analysis of official reports and interviews with local water experts. Stream water quality data were collected and previous undergraduate and graduate projects conducted in the area were reviewed to evaluate the presence of biochemical contaminants. Results revealed a combined monthly water inflow of 17,020 m³ and an outflow of 21,007 m³, for a total change in storage of -3987 m³. There is high uncertainty around these values, as methodological limitations and lack of field validation constrained the accuracy of some flow components. Nevertheless, it is evident that rainfall and the roles of impervious surfaces and vegetation were minimal, while subsurface water infrastructure played a major role in both hydrologic inputs and outputs, and groundwater also contributed to discharge. Water quality data confirmed that the Afluente Norte is infiltrated by wastewater, chlorine, hydrocarbons, and other inorganic contaminants. In conclusion, human engineered components of the system contribute significantly to the hydrologic flows and biogeochemical cycle of this sewershed, and further analysis is needed to better quantify their magnitudes. This study highlights the value of collaborative learning projects for teaching fundamental concepts, providing real-world field experience, and generating scientific knowledge. It also discusses challenges unique to cities with aging infrastructure, and the need for integrated and novel management approaches for

solving water resource issues in an urbanizing world.

Keywords: water balance, urban hydrology, water quality, urban infrastructure, collaborative learning, urban water management.

RESUMEN

Los balances de agua son influenciados por las actividades de los humanos tanto como el uso de terreno, y el desarrollo de la infraestructura para los fines de aguas potables, sanitarias, y las escorrentías. Dichos balances han sido construidos para varias ciudades en ambientes templados, pero hace falta entendimiento de las entradas y salidas de agua en las áreas urbanas tropicales. Como parte de un curso graduado de la hidrología ambiental, el objetivo de este proyecto fue investigar el balance de agua para la cuenca del Afluente Norte, un pequeño tributario de la Quebrada Juan Méndez en el sector de Río Piedras en San Juan, Puerto Rico que termina descargando eventualmente en el Estuario de la Bahía de San Juan. Junto con estudiantes subgraduados de un curso en ciencias ambientales, se llevó a cabo un estudio por el periodo de un mes durante la época seca, durante el cual se midieron o se estimaron las entradas y salidas de agua de la cuenca. Se usó una ecuación de continuidad, tanto como el análisis de reportes oficiales y entrevistas con expertos locales en hidrología, para calcular el balance de agua. También se recolectaron datos sobre la calidad de agua del afluente, y se revisaron proyectos anteriores realizados en la cuenca por estudiantes subgraduados y graduados para evaluar la presencia de los contaminantes bioquímicos. Los resultados mostraron una entrada mensual combinada de agua de 17,020 m³ y una salida de 21,007 m³, dando un cambio total de almacenamiento de -3987 m³. Hay una alta tasa de incertidumbre en estos valores, debido a varias limitaciones metodológicas y la falta de datos de campo para algunos componentes de flujo. Sin embargo, es evidente que las influencias de la lluvia, la vegetación, y la escorrentía de las superficies impermeables eran mínimas, mientras las entradas y salidas de los tubos de agua y el agua subterránea jugaron un rol mayor. Los datos de calidad de agua confirmaron la presencia de aguas usadas, cloro, hidrocarburos y otros contaminantes inorgánicos. Para concluir, los componentes construidos por los humanos contribuyen significativamente a los flujos hidrológicos y el ciclo biogeoquímico de esta cuenca urbana. Este estudio muestra el valor de proyectos colaborativos para promover la enseñanza de conceptos científicos fundamentales, proveer experiencias prácticas de trabajar en el campo y generar conocimiento nuevo. Además, enfatiza los retos únicos que enfrentan las ciudades con infraestructura vieja, y la necesidad para acercamientos innovadores e integrados para resolver los problemas de recursos de agua en un mundo que se está urbanizando.

Palabras clave: Equilibrio hidrológico, hidrología urbana, calidad de agua, infraestructura urbana, aprendizaje colaborativo, manejo de agua en áreas urbanas, aguas residuales.

INTRODUCTION

The water balance is a useful heuristic tool for describing the movement of water through a fixed spatial unit, usually a watershed (Grimmond et al. 1986a). The idea of the water balance is that the water cycle components of any given watershed, which include precipitation, evaporation, transpiration, infiltration, runoff, streamflow, and groundwater flow, can be simplified into three categories of inputs, outputs, and storage (Brooks et al. 2012). With the aid of the water balance, it becomes possible to make quantitative comparisons of hydrologic inflows and outflows within a single watershed across multiple time periods, as well as between different watersheds (Dunne and Leopold 1978). Nevertheless, calculating water balances is a complicated process that often requires estimations of precipitation, evaporation, surface and groundwater drainage rates (Herron and Wilson 2001). As Dunin (1991) observed, the high spatial heterogeneity of landscape properties and soil water content, in conjunction with limited sampling capabilities, restricts the utility of many water balances to small areas, and constrains the capacity to extrapolate experimental results to other watersheds or larger scales.

In urban areas, the water cycle and water balances are heavily influenced by human land use activities, including the construction of roads and buildings, and infrastructure built for potable, sanitary, and stormwater purposes such as water supply pipes, septic systems, stormdrains, and artificial channels (Welty et al. 2007, Bhaskar and Welty 2012) (Table 1). For example, the expansion of impervious surfaces tends to reduce infiltration and augment surface runoff (Dunne and Leopold 1978, Sanders 1986, Shuster et al. 2005); changes in vegetative cover and lawn irrigation practices influence rates of urban evapotranspiration (Claessens et al. 2006); urban heat islands can enhance precipitation and initiation of

storms (Lowry 1998, Dixon and Mote 2003); the channelization and burial of smaller headwater streams tends to accelerate downstream transport of surface runoff (Elmore and Kaushal 2008, Roy et al. 2009); the bypassing of riparian zones via piped storm drainage networks can lower water tables (Groffman et al. 2003); and the transfer of water between basins can alter watershed boundaries as determined by surface topography (Roy and Shuster 2009). The role of pipes is so dominant in determining hydrologic pathways in cities that several researchers have adopted the use of the term ‘sewershed’ to describe urban drainages (Bhaskar and Welty 2012, Hager et al. 2013). A sewershed is a catchment with boundaries defined by storm drain infrastructure that empties into a common outlet (Baltimore Ecosystem Study 2012).

Furthermore, the maintenance status of subsurface water infrastructure can directly affect urban water balances (Kaushal and Belt 2012). In particular, leakage from pipes has been reported to contribute to subsurface storage (Lerner 2002, Bhaskar et al. 2015) and stream discharge (Garcia-Fresca 2007, Lugo et al. 2011, Bhaskar and Welty 2012). Together these built features alter hydrologic patterns in urban catchments relevant to non-urbanized systems (Kaushal and Belt 2012). They also influence nutrient fluxes. Elevated concentrations of nutrients, contaminants, and organic matter have been consistently observed in urban stream systems, due to increased inputs from point and non-point sources such as wastewater pipe leakages, and reduced rates of nutrient uptake by microbes (Paul and Meyer 2001, Meyer et al. 2005, Kaushal and Belt 2012). Collectively, the effects of urbanization on stream hydrography and water quality have been described as dominant features of the ‘urban stream syndrome,’ wherein human landscape alterations contribute to significant differences in lotic ecosystem structure and function (Meyer et al. 2005, Walsh et al. 2005).

TABLE 1. Elements of the urban water cycle, adapted from Welty et al. (2007) and Elmore and Kaushal (2008).

-
- Water leaking from pressurized distribution pipes into the subsurface;
 - Infiltration and inflow into and exfiltration/overflows from both sanitary
 - Sewer lines and stormwater pipes;
 - Septic system discharge to groundwater;
 - Water routed through constructed stormwater ponds and basins;
 - Water supply import from or export to neighboring basins;
 - Wastewater import from or export to neighboring basins;
 - Point-source discharges to rivers from industrial operations;
 - Effects of impervious surfaces and hardened landscapes (turf, compacted soil, concrete stream channels) on runoff;
 - Influence of residential and commercial irrigation practices (lawn watering) on groundwater levels and base flow to streams in summer;
 - Burial of headwater streams;
 - Influence of incision of urban stream channels on groundwater levels;
 - Interaction between urban vegetation and evapotranspiration processes;
 - Groundwater withdrawals for water supply;
 - Preferential flow paths created by subsurface infrastructure.
-

The development of long-term water balances for urban systems is relatively limited (Welty et al. 2007), and are predominantly focused on temperate areas. For example, Grimmond et al. (1986) presented a simple model for evaluating the urban water balance, which was subsequently applied to studying a suburban catchment in Vancouver, British Columbia over daily, monthly, and annual time scales (Grimmond and Oke 1986). In that same study, the authors summarized other attempts to evaluate the water balance of cities or urbanized catchments, which included Sweden, Sydney, Moscow, Mexico City, and Hong Kong, the latter two being cities characterized by subtropical climates. Stephenson (1994) generated a water balance for a suburban catchment in Johannesburg, based on measured and modelled estimates of meteorological and

hydrological data over a several years. More recently, Bhaskar and Welty (2012) assessed water balances in the Baltimore metropolitan area, focusing on the spatial and temporal variability of hydrologic inflows and outflows from multiple urban and rural watersheds that drain to the Chesapeake Bay. Complementary studies have also looked at water quality within many of the same temperate urban basins (e.g., Duan et al., 2012; Groffman et al., 2004; Kaushal et al., 2010; Law et al., 2004; Svirichi et al., 2011). Among the most important conclusions from the literature are that (1) there are no components of the hydrologic cycle that are not affected by urbanization, and (2) the engineered components of the hydrologic system interact extensively with and influence natural water flows (Grimmond et al. 1986a, Stephenson 1994b, Bhaskar and Welty 2012).

There remains, however, a lack of understanding of water balances and water quality issues in the Global South, and more specifically tropical urban settings. This is significant, because fluxes of water and precipitation intensity in the humid tropics are greater than those observed in humid temperate areas due to the interactions of global phenomena such as the Hadley cell, regional circulations such as the El Niño/Southern Oscillation, mesoscale phenomena such as orographic flows, local land-atmosphere processes of cycling mass and energy, and microscale processes of evapotranspiration from individual plant surfaces (Wohl et al. 2012). Furthermore, tropical and subtropical countries in Africa, Asia, and parts of Latin America are undergoing rapid population growth and urban expansion (United Nations 2014), which is expected to alter land-atmospheric interchanges of heat and moisture and intensify hydrologic activity (Wohl et al. 2012). Therefore, developing quantitative analyses of hydrologic flows in tropical urban areas is critical; it is essential for both comparing hydrologic processes, outcomes, and implications for human and non-human communities in distinct socio-bioclimatic regions, as well as informing the design of infrastructure upgrades, particularly with respect to effects of future development and climate change.

The objective of this study was to investigate the water balance for the Afluente Norte, a small sewershed located in heavily urbanized San Juan, Puerto Rico. The study was conducted via a joint effort of graduate and undergraduate Environmental Science students from the University of Puerto Rico, Río Piedras Campus. The duration of the project was one month, in the dry season, during which period the land cover of the sewershed was characterized, hydrologic inflows and outflows were measured or estimated using multiple approaches, and water quality was assessed. This paper presents the findings of the water

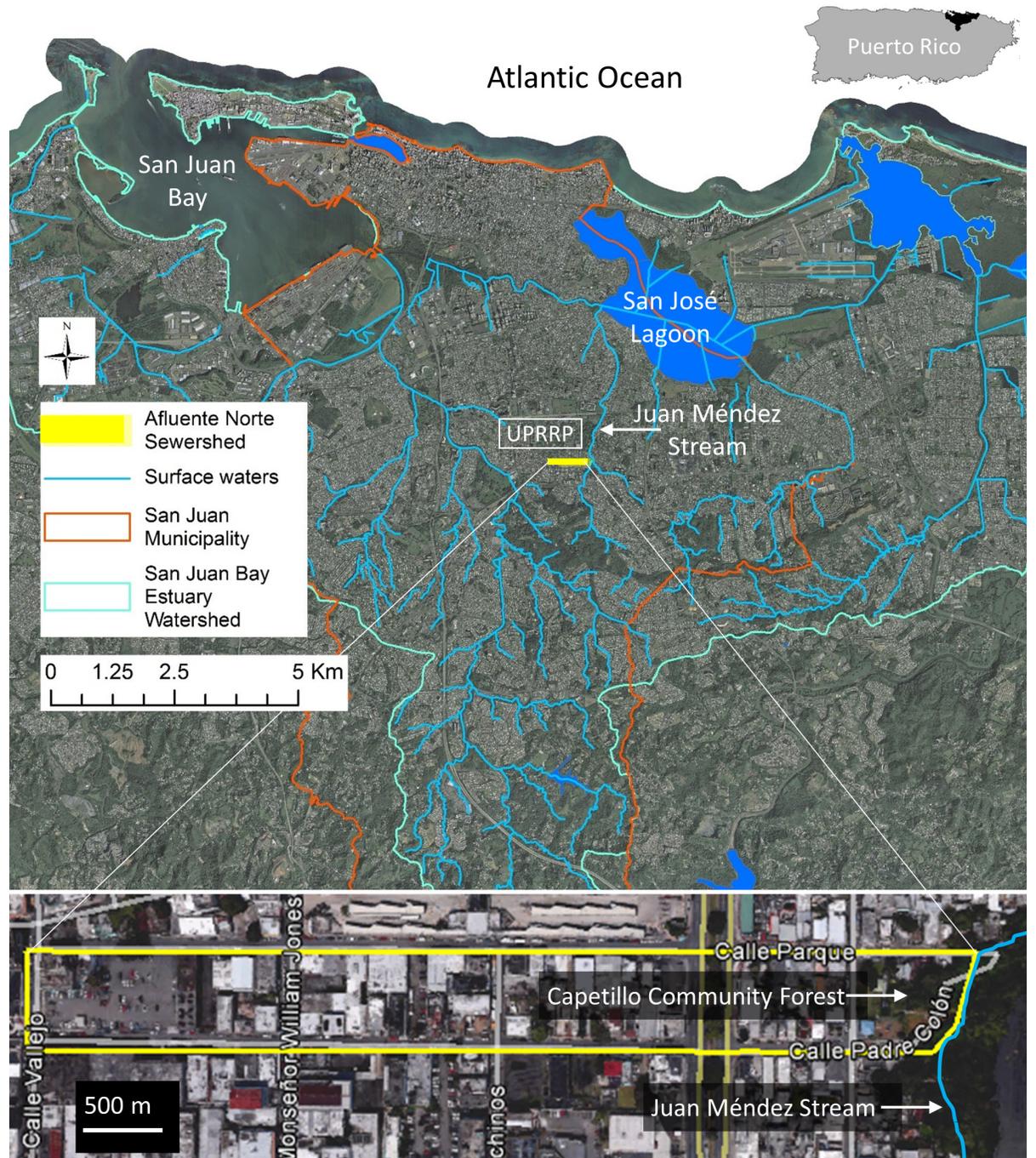
balance and environmental quality analyses. Given the limited time frame of the study, and the lack of empirical field data for several important inflow and outflow quantities, the results potentially contain inaccuracies and large margins of error, and, therefore, are not intended to inform specific management responses. Rather, the results serve to illustrate the collaborative research process undertaken in exploring the complexities of urban hydrologic dynamics, its quantitative difficulties and shortcomings, as well as its utility for teaching scientific field skills, critical analysis, and functional processes of the urban environment. The article also highlights key water issues facing cities with aging infrastructure, and considers their implications for managing water resources in tropical humid areas of the urbanizing world.

METHODS

Study Site

The Afluente Norte is a small tributary stream of the Quebrada Juan Méndez (Juan Méndez Stream, hereafter abbreviated as QJM) within the San Juan Bay Estuary (SJBE) watershed of northeastern Puerto Rico that is hydrologically connected to San Juan Bay (Fig. 1). It is located in the Río Piedras sector of San Juan, the capital city, and drains a sewershed of 0.035 km². The boundaries of the sewershed are circumscribed by the stormwater drainage network of approximately four and a half city blocks, and were determined using infrastructure data from the Municipality of San Juan (location of storm drainage tubes and manholes, street slope, and direction of water flow). Therefore, the drainage area of the sewershed follows the pattern of several urban streets. It begins at Calle Vallejo (Vallejo Street) where it attains a maximum elevation of 42 m a.s.l. From there, it continues eastward and downslope until abutting the fully-channelized QJM, at an elevation of 9.8 m a.s.l. (S. Torres,

FIGURE 1. Location map of the Afluente Norte sewershed and nearby geographic features within the San Juan Bay Estuary watershed in northeastern Puerto Rico. Lower panel shows close-up of sewershed outline (image courtesy of Google Earth) and adjacent Juan Méndez Stream.



personal communication, March, 2014). It is bounded to the north by Calle Parque, and to the south by Calle Padre Colón, along which runs a parallel tributary draining the adjacent Afluente Sur sewershed. Vertically, the sewershed extends below the ground surface to a depth of about 3 m. This belowground region includes the root zone of urban trees, and the city pipeline system associated with potable water supply and the sewage and stormwater collection system. Thus, the subsurface region of the sewershed gradually tapers toward the QJM.

The area is heavily developed, supporting infrastructure for mixed residential and commercial uses. Large portions of the sewershed are covered by impervious surfaces, including buildings ranging from two-three storeys in height, driveways and sidewalks. Channelization of the QJM and burial of its tributary streams occurred in the early 1950s, to control surface runoff and flooding in what was then a rapidly growing urban area (U.S. Army Corps of Engineers 2004). Despite its classification by the Puerto Rico Environmental Quality Board (PREQB) as a Class SD Surface Water¹ (Puerto Rico Environmental Quality Board 2014), the Afluente Norte flows almost completely underground through a corrugated aluminum channel until its discharge below a house located at the edge of the Capetillo Community Forest (Figs. 1 and 4D). From there, the stream flows at the ground surface for about 50 m through a stand of secondary growth trees that is regenerating following the removal in the mid-2000s of “Isla del Diablo,” a blighted urban community that had developed adjacent to the QJM. The Afluente Norte empties into the QJM via a concrete drainage pipe of 1.21 m diameter that passes through a retaining wall which limits belowground flow between the local aquifer and the

stream. The subsurface material of the aquifer is comprised of alluvium. The elevation of the unburied section of the Afluente Norte is at 15.9 m a.s.l. Several of the stormwater and sanitary sewers are partially or completely filled with accumulated trash and sediment. Previous studies have documented poor water quality in the Afluente Norte and QJM, owing to limited circulation, and the accumulation of sediment, trash and chemical contaminants from urban runoff, as well as domestic waste from illegal discharges directly to stormwater sewers and the streams (Fuentes-Viera 2009, Lucca Santana 2013).

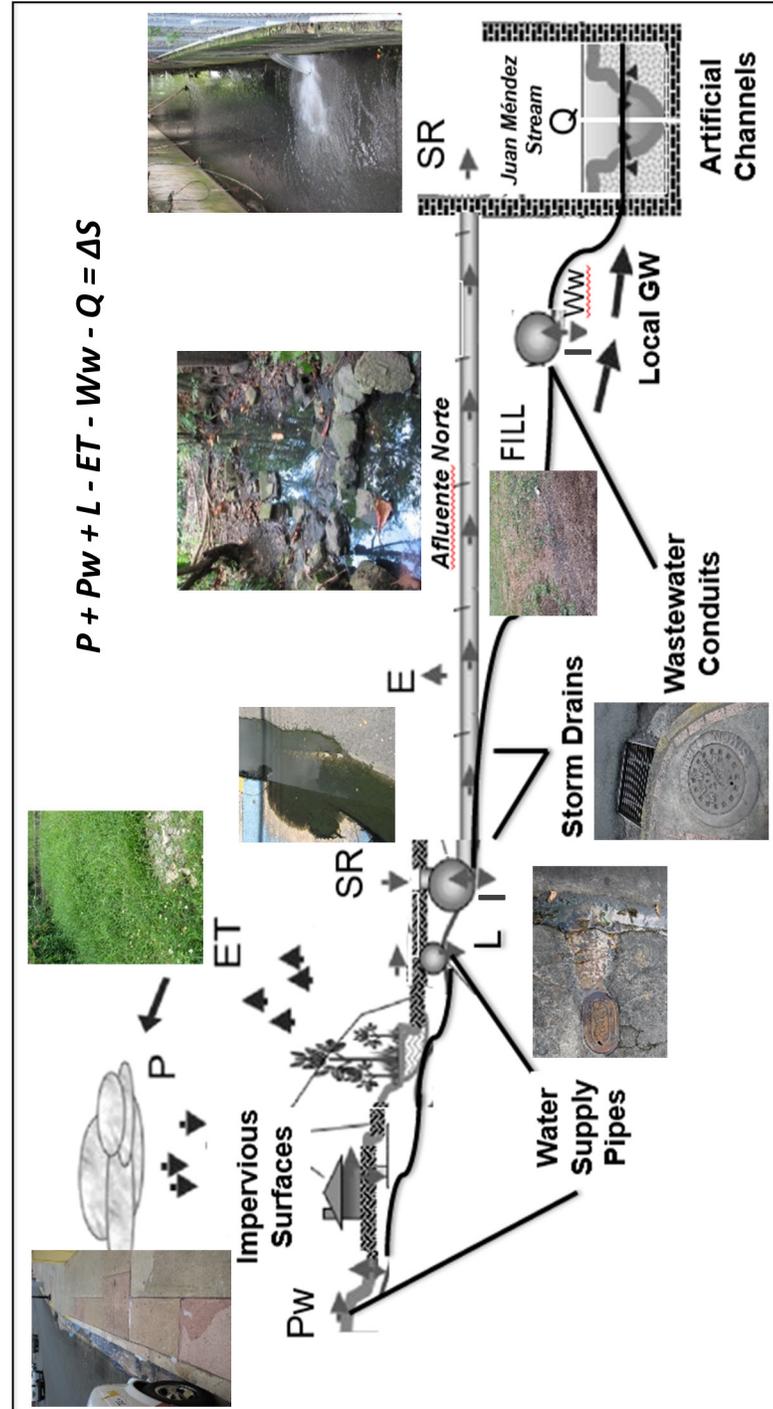
The Municipality of San Juan is situated within the subtropical moist forest life zone (Holdridge 1967). Average yearly rainfall on the low-lying coastal plain is approximately 1500 mm, and warm tropical breezes keep mean annual temperatures between 23.9 °C and 27.2 °C (Webb and Gomez-Gomez 1998). The months of January to April are typically drier, while wetter periods dominate in May and from August through November (Lugo et al. 2011). However, recent analysis suggests that wet days are increasing during winter months and dry days increasing during the summer (Méndez-Lázaro et al. 2014). Heavy intensity, convective rain storms are common in the region (Harmsen et al. 2008), and periodic cyclonic storms, including several hurricanes, have impacted San Juan and the island in past decades (Lugo et al. 2011).

Conceptual Model and Water Balance

A conceptual model of the urban hydrologic system of the Afluente Norte was developed based on a modified version of the model presented by Welty et al. (2007) (Fig. 2). Included in the model are both human and non-human elements and hydrological processes that occur at the surface and in the subsurface to the depth of the water pipe infrastructure. The components of a water balance can be quantified

¹Surface waters intended for use as a raw source of public water supply, propagation and preservation of desirable species, as well as primary and secondary contact recreation.

FIGURE 2. The urban hydrologic system of the Afluente Norte sewershed (modified with permission from Welty et al. (2007) showing human and non-human elements and flow pathways, and the continuity equation (not all elements are explicitly included). E=evaporation; ET=evapotranspiration; GW=groundwater; I=Infiltration; L=leakage; P=precipitation; Pw=potable water; Q=discharge; SR=surface runoff; Ww=wastewater; ΔS =change in storage. Inset photos show in situ examples of individual components.



and related mathematically via a continuity equation:

$$I - O = \Delta S \quad (1)$$

where I and O refer to the total inflow and outflow, respectively, and ΔS represents the change in storage (Brooks et al. 2012). Thus, for any increase in inflow that exceeds outflow, the change in storage must increase, and likewise storage will decrease if the magnitude of outflow is greater than the inflow. Following Welty et al.'s (2007) approach, the basic continuity equation was expanded to explicitly represent the multiple factors that contribute to hydrologic flux over a given period of time in the Afluente Norte. In this context, the continuity equation is expanded as follows:

$$P + P_w + L - ET - W_w - Q = \Delta S \quad (2)$$

where P is precipitation, P_w represents the piped potable water supply for domestic and commercial purposes, L stands for leakage from from potable and wastewater pipes, ET is evapotranspiration (the total of interception, transpiration, and evaporation from plant, soil, and water bodies), W_w represents piped wastewater from commercial and residential buildings, Q is stream discharge from the stormwater drainage system, and ΔS stands for the change in storage in the sewershed at two distinct moments in time.

With this equation, a water balance study of the Afluente Norte was carried out for one month during the dry season, from 15 March to 14 April, 2014. Working with a class of twenty-five undergraduate environmental science students, the group was divided into teams of four-five persons, each one focused determining one aspect of the water inflows and outflows (positive and negative components of the left side of Eq. 2, respectively) from the sewershed. For some parameters, multiple methods were tried, and then the results of a

specific approach selected for use in the water balance (specific details below). While some values were empirically measured, many were also estimated based on expert opinion and lacked validation in the field. Consequently, the quantitative results of the analysis presented here are not indisputable in their accuracy, and serve primarily to illustrate the benefits of using a water balance for investigating urban hydrologic processes and teaching environmental assessment skills in the field.

Inflows

Precipitation was recorded continuously on the unobstructed roof of the nearby Facundo Bueso building, located 400 m NW of the sewershed on the University of Puerto Rico-Río Piedras (UPRRP) campus. An Onset Hobo RG3-M tipping bucket rain gauge with Pendant Event automated data logger (Fig. 3) was used to record rainfall events in 0.2 mm intervals per each tip of the bucket. The logger also recorded air temperature at hourly intervals. Data were downloaded on a weekly basis and then summed for individual events and for the entire month. Individual rainfall events were distinguished by inter-event rainless periods of at least 4 h following Xiao et al. (Xiao et al. 2000), and which is similar to values reported in previous rainfall interception studies conducted in Puerto Rico (e.g., Schellekens et al. 1999). It is possible that during very intense rain events additional water entered the sewershed via surface runoff from adjacent street areas, but based on the observed street contours and documented flow pathways of the stormwater infrastructure, in addition to the relatively limited rainfall that occurred during the study period, it was assumed that such inputs were negligible. A manual cylinder-type rain gauge was also placed in a clearing located at the UPRRP Family Ecology Garden of the College of Education, located 250 m directly north of the sewershed. Rainfall was collected by hand from this second gauge on

FIGURE 3. Field research equipment. (A) Tipping bucket rain gage (left) and evaporation pan (right). (B) Afluyente Norte outfall pipe with water level logger. (C) Soil texture by feel. (D) Soda bottle rainfall interception gages. (E) Soil infiltration bucket. (F) Hydrolab water quality sensor.



a daily basis (excluding weekends) during the study period. The manual rainfall data were used for comparative analysis of precipitation variability and interception by trees (described below) but were not used for the water balance analysis.

The quantity of potable water was determined based on net municipal water data provided by the Puerto Rico Aqueduct and Sewer Authority (PRASA), review of official documents, and conversations with local water management experts. The number of customers in the watershed was estimated using a street inventory. The number of businesses and households/apartments per street were recorded based on visible drains and water meters, and

the number of persons per household was estimated based on building size and the number of cars in the driveway. Houses that appeared abandoned were assigned a population of zero. This resulting household population number was multiplied by the 2005 average daily water consumption value for Puerto Rico of 91 gallons/person/day (gppd); businesses were estimated to consume 15.8 gallons per day (Molina-Rivera and Gómez-Gómez 2008). These numbers for household and commercial consumption were then summed for all streets in the study area. More recent reports from the U.S. Geological Survey were also reviewed, with specific values of domestic per capita water use for San Juan for 2010 (61.52 gppd; Molina-Rivera 2014) and 2014 (61.37 gppd;

Molina-Rivera 2016). However, these values were dismissed based on consultation with a local water expert who suggested that they might not adequately account for multiple sources of water and many valves transferring water from one service area to another (F. Quiñones, personal communication, December, 2016).

The input of excess water into the system from pipe leakage was also derived from the available PRASA data. Leakage from potable water pipes was estimated to be 43% of the total potable water value, an average value for all of Puerto Rico based on conversations with former USGS hydrologist and engineer, Ferdinand Quiñones (personal communication, March, 2014). Leakage from wastewater pipes into the sewershed was estimated as 10% of the total wastewater flow leaving the sewershed (see “Outflows,” below), based on input from a local expert on the Puerto Rico wastewater system (R. Rios, personal communication, March, 2014).

Outflows

Evaporation loss was determined using three Class A evaporation pans: one mounted on the roof of the Facundo Bueso building at UPRRP, next to the automatic rain gauge (Fig. 3); a second one situated on 15 cm above the ground in a grassy clearing at the UPRRP Family Ecology Garden of the College of Education; and a third one located in a grass-covered clearing on the grounds of the Agricultural Experimental Station at the nearby University of Puerto Rico Botanical Garden. Water levels in the pans were measured daily at the same time using a hand ruler. In addition, Onset Hobo automatic Water Level Loggers were placed in the Facundo Bueso and Ecology Garden pans to record continuous water level and temperature data. Effort was made to keep the sensors in a stable position, but on a few occasions sensors were observed to fall over in the pan

for unknown periods of time. Ultimately, the hand-measured data from the Ecology Garden pan were used for the water balance analysis because it was most representative of the green areas in the sewershed, and exhibited the least amount of measurement error. Reference evapotranspiration (ET) for the total vegetative portion of the sewershed (as determined via Google Earth Pro – see land cover description for calculating surface runoff, below) was then calculated using the FAO Penman-Monteith method (Snyder 1992, Allen et al. 1998), and a pan coefficient of 0.75 (Sentelhas and Folegatti 2003).

Water leaving the sewershed via piped infrastructure was assumed to occur through two pathways. The first was household and commercial wastewater pipes. Wastewater flow is not metered by PRASA, and given the restricted time frame of the study, it was not feasible to monitor wastewater flow in the field; therefore, the volume of wastewater leaving the watershed was estimated as 90% of the potable water daily inflow, based on an expert opinion (R. Rios, personal communication, March, 2014). To confirm the possibility of subsurface infiltration of groundwater into non-surcharged outflow pipes and/or illegal discharges from the sanitary system, the presence of water flow in stormwater drains during dry periods was looked for. Topographic elevation models and engineering plans of urban water infrastructure for the study area were also examined, to compare surface elevation above sea level and depths of pipes within the sewershed with the inferred water table level of the UPRRP Back Well, located 380 m directly north of the focal sewershed. The water table level was inferred based on a consultation with local groundwater expert Sigfredo Torres of the U.S. Geological Survey (March, 2014), due to a lack of quantitative well data for the study period. Lastly, the surface elevation and inferred level of the well water were compared relative to the surface elevation of the QJM, and general

patterns of subterranean water for the region, to evaluate the possibility of ground water feeding the stream.

The second assumed exit pathway was stream discharge from the Afluente Norte, which includes surface runoff and infiltration of subsurface water into non-surcharged stormwater pipes below the water table. Stream discharge was measured using three methods. First, the surface velocity of a free-flowing section of the Afluente Norte was measured via a floating method (Buchanan and Somers 1969), wherein a ping pong ball was released on four sampling dates during the study period along a shallow 2.45 m transect of the stream with an average cross-sectional area of 0.14 m². At each sampling, stream velocity was determined by releasing the ball six times and averaging the times recorded for the ball to traverse the transect. Discharge per sampling date was then calculated by multiplying the cross-sectional area by mean velocity of the water. Second, a conductivity method was performed on two sampling dates in the same location as the floating method. Two hundred and fifty (250) ml of saline water were added to the stream at the start of the transect and then electrical conductivity was measured at the end of the transect using a Hach Hydrolab MiniSonde. At each sampling, three separate conductivity measurements were taken, and the results were averaged. Results from both the floating and conductivity methods were multiplied by a factor of 0.85 to account for variability in flow velocity between water at the surface and within the water column. Third, water level was continuously measured in 5-minute intervals at the sewershed pipe outfall to the QJM using an Onset Hobo Water Level Logger (Fig. 3). After correcting for fluctuations in barometric pressure, pipe discharge was then calculated via the Manning equation for estimating open channel flow in circular conduits. The data

from the culvert were compared against the empirically measured flow volume attained from the floating method, and a factor of 0.2815 was multiplied by the modeled results to obtain corrected discharge volumes for the month. The corrected discharge data derived from the water level logger at the conduit outfall were used for the water balance analysis because of their continuous nature over the entire study period.

In addition, the total observed discharge value was compared with a derived value computed from the sum of estimated surface runoff, leakage to the subsurface from urban infrastructure as described earlier, and contributions from groundwater as represented by the change in storage. To estimate surface runoff, land cover for the sewershed was first geospatially categorized into several cover classes using high spatial resolution (1 m) imagery and Google Earth Pro software. The cover classes were chosen to represent the diversity of pervious and impervious surfaces that could potentially have different storage capacities. Surface runoff was calculated for each cover class based on proportional area, and for the sewershed as a whole, using the NRCS Curve Number method that characterizes runoff based on hydrologic soil group, cover type, treatment, and hydrologic condition (Cronshey 1986). The Curve Number accounts for initial abstractions before runoff, such as water retained in surface depressions, water intercepted by vegetation, evaporation, and infiltration, and a composite number can be calculated to represent the proportional influence of different cover types. As noted with respect to inflow, it is possible that during intense rain events runoff exceeded the boundaries of the sewershed, and flowed toward other concentration points. Yet again based on surface contours, flow direction of stormwater sewers, and low overall rainfall during the study period, such quantities were assumed to be insignificant.

Volumes of total inflows and outflows were calculated per street per day (gallons) and then converted to an estimate representing flows in m³ at the scale of the entire sewershed for the thirty-one-day study period.

Water Quality

A Hach HydroLab MiniSonde sensor was used to measure several physico-chemical properties of the water in the Afluente Norte, such as temperature, pH, total dissolved solids (TDS), and dissolved oxygen (Fig. 3). A Chemetrics Kit (model K-8510) was used to measure phosphates. Turbidity was measured using a LaMotte TC-3000e unit. Measurements were recorded on seven dates at five sampling points distributed along the open water section of the Afluente Norte where it flowed through the Capetillo Community Forest. All sampling occurred during late morning to early afternoon hours. Data were also collected with the HydroLab MiniSonde sensor over one continuous four-day span from April 8 to 11 at sampling point 4, and additional phosphate and turbidity data were collected at the start and end of that period. Wastewater infiltration into the stormwater collection system was tested for using LaMotte BioPaddles to detect the presence of fecal coliforms in the discharge from the Afluente Norte. The possibility of other biochemical contaminants and heavy metals was explored via a review of previous undergraduate and graduate research projects conducted in the study area.

Interception and Soil Infiltration

An alternative method of measuring abstraction of rainfall by trees was also attempted, by measuring rainfall interception below one broadleaf deciduous tree (*Ceiba pentandra*) situated at the Family Ecology Garden on the UPRRP campus (Fig. 3). Eight two-liter soda bottles, with their tops cut off to produce open cylinders, were placed below the

canopy of the tree, two at each of the cardinal directions, one closer to the tree's trunk and the other farther towards the edge of the canopy. On a daily basis the volume of the direct throughfall and canopy drip that collected in each bottle was measured using a graduated cylinder. Results were averaged per collection date for each cardinal direction, as well as for all eight bottles to obtain a below-canopy throughfall value. Stemflow was not measured due to the presence of spines on the trunk that interfered with attempts to attach a collecting collar. Instead, stemflow, was estimated as 5% of each rainfall event, based on the upper range of results reported for urban trees by Xiao and McPherson (2011). Proportional interception per collection date was then calculated as the accumulated gross precipitation as measured by the manual cylinder rain gage described above in "Inflows" minus throughfall, estimated stemflow, and evaporation as recorded by the pan in the Family Ecology Garden. Leaves were on the tree throughout the study period. Canopy coverage was measured at the mid-point between soda bottles in each cardinal direction using a spherical densiometer, to relate interception with foliar density at the sampling locations. Four canopy measurements were made per cardinal direction and then averaged. The results of the interception measurements were not used in the analysis of the water balance because of the limited data collected below a single tree, and because the Curve Number runoff calculation accounts for abstractions of water by vegetative surfaces.

The texture and infiltration rate of three patches of soil in the sewershed were also measured (Fig. 3). Two of these soil patches were located within the Capetillo Community Garden, one in the middle of a heavily trafficked footpath with compacted soil and the other in raised garden bed with deep, uncompacted soil. The third site was located near the open section of the Afluente Norte in the Capetillo Community Forest. To measure texture, a

simple hand-held method was employed, based on smoothness and the capacity of a moist sample of each soil to form a ribbon. Infiltration was measured at the three locations during a dry period and directly following one rain event. A five-gallon (18.9 L) bucket with its bottom cut off was pushed at least 3 cm deep into the soil at each site, to serve as a cylinder of known diameter (490.63 cm²) that would help channel water downward into the soil profile. Then, one gallon (3.8 L) of water was poured into the top of the bucket to simulate rainfall and a timer was used to record how long it took for all of the water to infiltrate into the soil at each site. Rates of infiltration per simulated event were calculated in mm/min. The results of the infiltration measurement were not used in the analysis of the water balance because of the limited samples, and also because the Curve Number runoff calculation accounts for abstractions of water via infiltration processes.

Descriptive summaries of quantitative measurements, graphics, and comparisons of results from different methodical approaches were conducted using Excel spreadsheet software.

RESULTS

Land Cover and Water Infrastructure

Seven cover classes were identified for the sewershed: buildings and parking lots, roads, street trees, grass medians, community garden, sandy playground, and immature secondary forest. Most of the area was covered by impervious surfaces with a high runoff capacity, with the proportional area of buildings, parking lots, and roads approaching 90% (Fig. 4). The proportion of green spaces summed to 11%, comprised primarily of small patches distributed throughout the sewershed that represented the canopy of individual street trees. Two exceptions were the Capetillo Community Garden plot and a

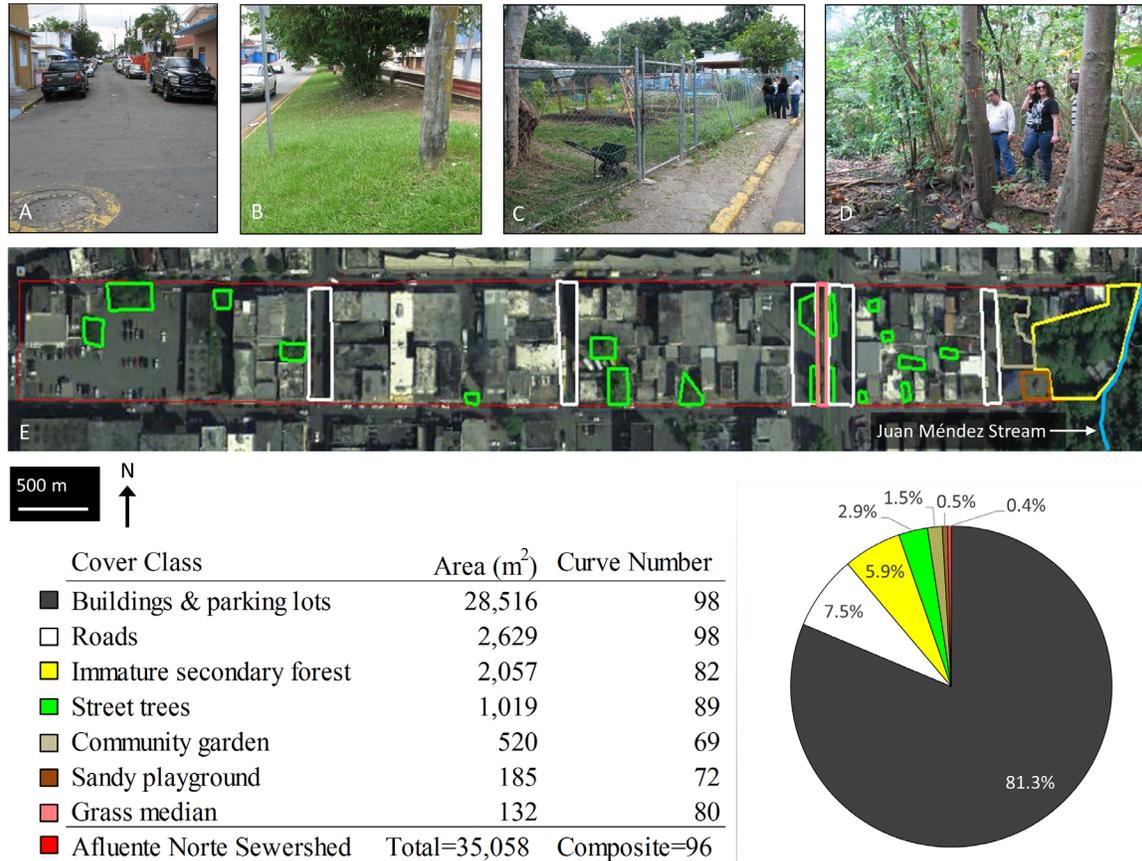
larger stand of secondary forest located in the Capetillo Community Forest at the east end of the sewershed, which together made up a significant proportion (70%) of the green cover.

Examination of engineering plans of the urban water infrastructure and consultation with local engineering experts revealed that both potable and wastewater pipes in the study area were situated roughly 3 m below the street surface of the sewershed, which at its lowest point has an elevation of 18.9 m a.s.l. The phreatic level of the UPR Back Well was inferred to be at 3 m below the surface (14.0 m a.s.l.), or at 11.0 m a.s.l. Therefore, it was concluded that the groundwater was probably below the water pipe infrastructure during dry periods, and water leaving from leakage into stormwater or sanitary pipes was deemed to be minimal. The inferred groundwater water level was above the water level of the QJM (9.8 m a.s.l.), suggesting the presence of a local hydraulic gradient from the groundwater to the stream (S. Torres, personal communication, March, 2014).

Inflows

The total precipitation recorded during the 30-day study period by the automatic rain gauge on the roof of the Facundo Bueso building was 39.4 mm. When multiplied by the capture area of the sewershed, this resulted in a cumulative volume of approximately 1381 m³/month. Fifteen precipitation events occurred, nine of them being very small and accumulating ≤ 1 mm (Table 2), and the largest, which occurred on April 5, exceeding a depth of 14 mm. Event duration ranged from less than one minute to more than thirteen hours. The majority (81%) of rain fell during three light intensity (<2.5 mm/hr) events across a three day period in early April. Of the eight events that exceeded one minute in duration, two of them were of heavy intensity (>7.6 mm/hr), with a maximum average intensity of 30.5 mm/hr occurring

FIGURE 4. Land cover within the Afluente Norte sewershed. (A) Street level view of the Afluente Norte sewershed looking upstream. (B) Road median with green infrastructure. (C) Capetillo Community Garden. (D) Capetillo Urban Forest and the surface water of the Afluente Norte. (E) Satellite image of study area (courtesy of Google Earth) with cover classes, proportional area, and surface runoff Curve Numbers (accompanying table and chart), determined according to the NRCS protocol outlined in Cronshey (1986).



when 1 mm of rain fell in two minutes on April 3. Mean event depth and intensity were 2.6 (± 4.8) mm and 9.8 (± 8.6) mm/hr, respectively.

Some 893 individuals were estimated to be living in households/apartments in the sewershed, in addition to 180 businesses. They collectively consume 87,679 gallons of potable each day, which is equivalent to 10,289 m³ for the one month study period. Estimated leakage of potable water and wastewater from the surrounding subsurface matrix into the sewershed was 5,350 m³/month. Therefore, total inflows

from water pipe infrastructure and precipitation together summed to 17,020 m³/month (Fig. 5).

Outflows

Daily and monthly ET losses from the three reference pans are presented in Table 3. Total ET estimates from the sensors were higher than those calculated from hand-measured data. Evapotranspiration as calculated from the Facundo Bueso building rooftop that was devoid of vegetation was greater than the results from the other two pans that were situated at or near ground level over grassy substrate. Cumulative

TABLE 2. Rainfall characteristics for fifteen events in the Afluente Norte sewershed, as recorded by a tipping bucket rain gauge.

Event	Date & Start Time	Rainfall (mm)	Duration (min)	Intensity (mm hr⁻¹)
1	3/16/2014 22:54	0.3	1	15.2
2	3/17/2014 17:36	0.5	8	3.8
3	3/28/2014 1:57	0.3	1	15.2
4	3/28/2014 7:30	0.3	1	15.2
5	3/28/2014 13:40	0.5	3	10.2
6	3/29/2014 11:07	1.0	157	0.4
7	3/30/2014 0:39	0.3	1	15.2
8	3/30/2014 8:24	0.3	1	15.2
9	4/3/2014 2:31	1.0	2	30.5
10	4/3/2014 16:24	14.0	406	2.1
11	4/4/2014 3:28	3.3	89	2.2
12	4/4/2014 17:23	14.5	806	1.1
13	4/9/2014 10:00	0.3	1	15.2
14	4/11/2014 19:21	0.5	7	4.4
15	4/13/2014 2:45	2.5	134	1.1
Total		39.4	1618.0	
	Mean	2.6	107.9	9.8

FIGURE 5. The water balance of the Afluyente Norte sewershed from March 15 – April 15, 2014, showing inflow/outflow component volumes (m^3/month) and relative proportions. Symbols as described in Figure 2. Derived discharge (the sum of subsurface leakage, surface runoff, and change in storage) was $10,701 \text{ m}^3/\text{month}$.

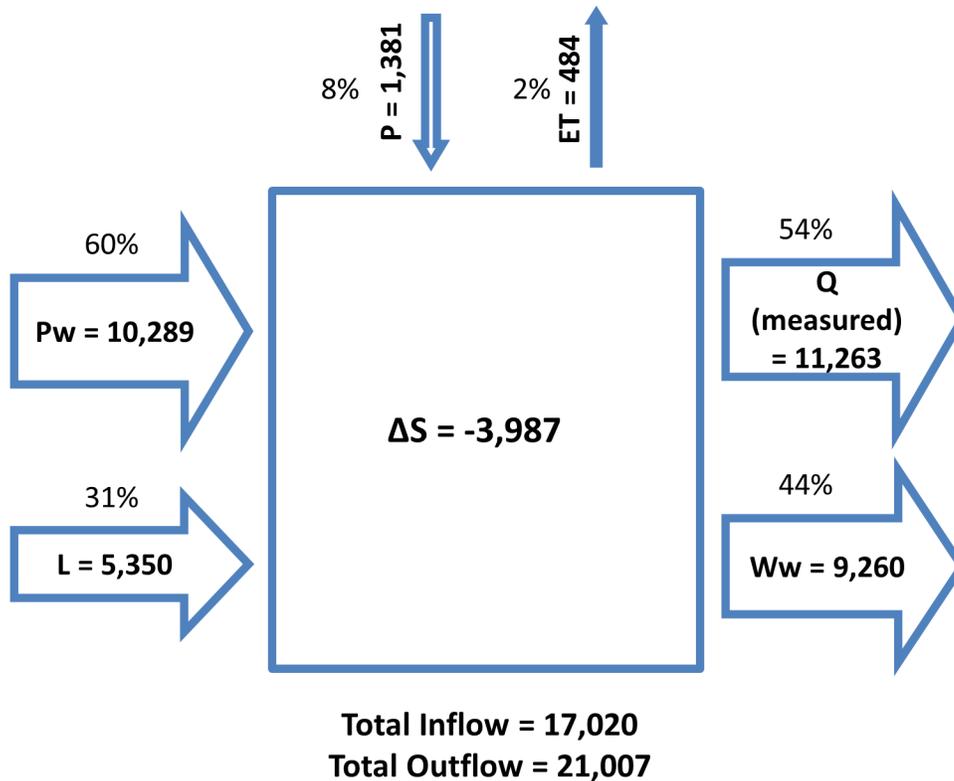


TABLE 3. Cumulative evapotranspiration (ET) for March 15 – April 15, 2014, as calculated using the FAO Penman-Monteith method (Snyder 1992, Allen et al. 1998) from two evaporation methods at three locations.

Location/Method	Total ET (mm)
Ecology Garden - ruler	129.8
Botanical Garden - ruler	137.3
Facundo Bueso roof - ruler	165.8
Ecology Garden - sensor	176.5
Facundo Bueso Roof - sensor	223.7

ET for the study period, as calculated from the pan in the Family Ecology Garden, was 129.8 mm. When applied across the area extent of vegetative cover in the sewershed (3,728 m²), total ET for the period of observation was 484 m³/month (Fig. 5). Although total precipitation was greater than ET, there were several days when potential evapotranspiration exceeded precipitation, creating short-term water deficits (Fig. 6).

Stream discharge from the Afluente Norte are presented in Figure 7, as calculated on discrete sampling dates from the pipe outfall using the Manning equation, and from measurements of the surface velocity using the floating and conductivity methods. Discharge varied from one method to the next, with the Manning equation tending to overestimate low flow volumes, and underestimate higher volumes, as compared to the flow measured using the other two methods. Based on the continuous data collected from the pipe outfall, flow during the month-long study period ranged from a minimum of 3.0×10^{-4} m³/s to a maximum of 4.5×10^{-2} m³/s, with an average discharge of 5.0×10^{-3} m³/s ($\pm 5.0 \times 10^{-4}$). Following the rain events of April 3, 4, and 5, stream discharge remained relatively high for a few days, even though precipitation had ceased (Fig. 7). Total discharge volume during the study period was calculated as 11,263 m³/month (Fig. 5). A weak correlation ($r = 0.13$) was observed between discharge and precipitation (Fig. 7). Daily discharge exhibited a cyclic pattern, with slightly higher volumes of water exiting the sewershed during the evening and nighttime hours, versus a lower volume during the late morning and early afternoon.

In addition, the estimated value of wastewater leaving the sewershed from household and commercial pipes summed to 9,260 m³/month. Together, evapotranspiration, wastewater, and observed stream

discharge summed to a total outflow of 21,007 m³/month (Fig. 5).

The Water Balance

Based on the measured and assumed quantities of inflow and outflow, the total change in storage was equal to -3,987 m³/month, indicating a negative water balance for the study period (Fig. 5). Rainfall represented 8% of the monthly inflow and 6.5% of the outflow. In contrast, potable water comprised more than 60% of inflow, and treated wastewater represented 44% of outflow. Estimated leakages from the potable water and wastewater systems together accounted for almost half of the outflow. The volume of water that left the sewershed as wastewater to a treatment plant was equal to 82% of the observed stream discharge. Green areas contributed to just 2% of watershed outflows. Proportionally, measured discharge of the Afluente Norte was comprised of 48% leakages from potable and wastewater pipes, 35% groundwater, and 17% runoff.

As for the derived discharge value, the calculated flow volume was 10,701 m³/month. Of this total, 5,350 m³ (50%) were contributed by the subsurface leakage of urban infrastructure, as described earlier. Another 1,364 m³ (13%) were generated as surface runoff, calculated using a composite Curve Number (Fig. 4); this surface runoff was equal to 99% of the precipitation input, and the majority came from the dominant cover class of buildings and parking lots. An additional 3,987 m³ (37%) of derived discharge came from the calculated change in storage. The derived discharge value varied by 5% from the observed value that was measured at the outfall of the Afluente Norte.

Water Quality

A summary of water quality data across sampling sites and dates is presented in Table 4. Temperature data from the Afluente Norte

FIGURE 6. Relationship between rainfall and potential evapotranspiration (as calculated from Facundo Bueso roof – ruler evaporation data), showing short-term water deficits (depicted in orange) during dry days.

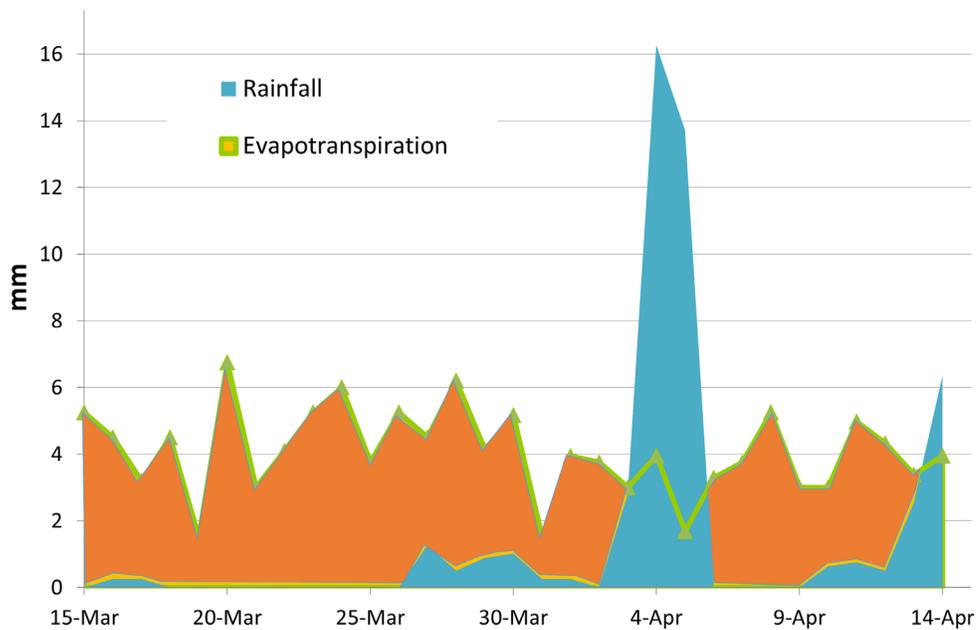


FIGURE 7. Afluente Norte discharge as measured on four dates using three methods (top), and for the entire study period in relationship to total daily rainfall (bottom).

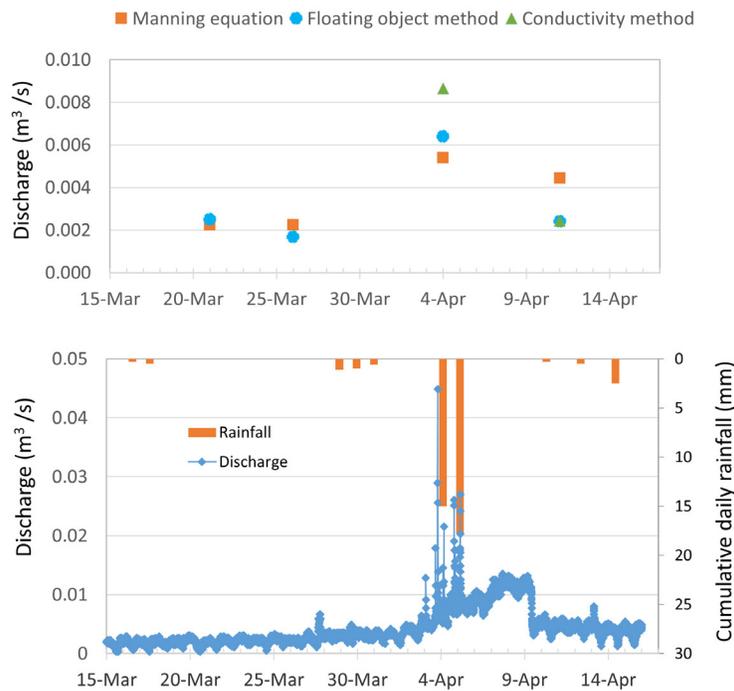


TABLE 4. Water quality characteristics across multiple dates for five sampling sites in the Afluente Norte. Values for April 8–11 represent daily averages from continuous sensor data, with the exceptions of phosphates and turbidity which were collected once each day. Bold values represent summary averages and standard deviations (StdDev) across all sites and dates.

	17- Mar	20- Mar	24- Mar	27- Mar	31- Mar	7-Apr	8-Apr	9-Apr	10-Apr	11-Apr	14-Apr	Mean (All Dates)	StdDev (All Dates)
Site 1	26.5	26.8	27.2	27.0	27.3	28.5	no data	no data	no data	no data	27.4	27.2	0.61
Site 2	27.0	26.7	27.7	27.9	27.3	28.6	no data	no data	no data	no data	27.5	27.5	0.57
Site 3	27.2	27.1	27.8	27.8	27.3	28.6	no data	no data	no data	no data	27.5	27.6	0.47
Site 4	26.4	26.5	27.1	27.4	26.8	28.2	27.2	27.4	26.9	26.6	26.7	27.0	0.51
Site 5	26.1	26.4	26.8	27.3	26.6	28.1	no data	no data	no data	no data	26.4	26.8	0.62
Mean (all sites)	26.6	26.7	27.3	27.5	27.1	28.4					27.1	27.2	
StdDev (all sites)	0.5	0.3	0.4	0.4	0.4	0.2					0.5		0.64
Site 1	7.24	7.25	7.23	7.17	7.23	7.33	no data	no data	no data	no data	7.40	7.26	0.07
Site 2	7.23	7.24	7.26	7.22	7.25	7.31	no data	no data	no data	no data	7.3	7.26	0.03
Site 3	7.20	7.24	7.20	7.25	7.22	7.33	no data	no data	no data	no data	7.31	7.25	0.05
Site 4	7.15	7.17	7.15	7.20	7.11	7.30	7.16	7.12	7.13	7.12	7.22	7.17	0.05
Site 5	7.18	7.17	7.11	7.15	7.16	7.30	no data	no data	no data	no data	7.30	7.20	0.07
Mean (all sites)	7.20	7.21	7.19	7.20	7.19	7.31					7.31	7.23	
StdDev (all sites)	0.04	0.04	0.06	0.04	0.06	0.02					0.06		0.07

TABLE 4. Water quality characteristics across multiple dates for five sampling sites in the Afluente Norte. Values for April 8-11 represent daily averages from continuous sensor data, with the exceptions of phosphates and turbidity which were collected once each day. Bold values represent summary averages and standard deviations (StdDev) across all sites and dates. (continued).

	17- Mar	20- Mar	24- Mar	27- Mar	31- Mar	7-Apr	8-Apr	9-Apr	10-Apr	11-Apr	14-Apr	Mean (All Dates)	StdDev (All Dates)
Site 1	0.239	0.262	0.249	0.238	0.253	0.313	no data	no data	no data	no data	0.277	0.262	0.02
Site 2	0.242	0.259	0.251	0.240	0.248	0.311	no data	no data	no data	no data	0.280	0.262	0.02
Site 3	0.241	0.260	0.251	0.281	0.254	0.312	no data	no data	no data	no data	0.281	0.269	0.02
Site 4	0.248	0.265	0.253	0.243	0.258	0.316	0.300	0.300	0.300	0.300	0.280	0.278	0.02
Site 5	0.248	0.269	0.250	0.244	0.257	0.315	no data	no data	no data	no data	0.276	0.266	0.02
Mean (all sites)	0.244	0.263	0.251	0.249	0.254	0.313					0.279	0.267	
StdDev (all sites)	0.004	0.004	0.001	0.018	0.004	0.002					0.002		0.03
Site 1	2.6	4.0	5.6	2.6	10.0	2.0	5.6	no data	no data	85.0	5.0	13.6	25.34
Site 2	2.8	5.0	5.6	2.8	10.0	2.0	5.6	no data	no data	104.0	11.0	16.5	31.07
Site 3	6.4	6.0	7.0	6.5	10.0	2.0	7.0	no data	no data	111.0	10.0	18.4	32.80
Site 4	4.6	3.0	3.4	4.6	10.0	2.0	3.4	no data	no data	47.0	12.0	10.0	13.46
Site 5	3.2	2.0	2.5	3.2	7.0	2.0	2.5	no data	no data	39.0	5.0	7.4	11.29
Mean (all sites)	3.9	4.0	4.8	3.9	9.4	2.0	4.8			77.2	8.6	13.2	
StdDev (all sites)	1.6	1.6	1.8	1.6	1.3	0.0	1.8			32.8	3.4		25.08

TABLE 4. Water quality characteristics across multiple dates for five sampling sites in the Afluente Norte. Values for April 8-11 represent daily averages from continuous sensor data, with the exceptions of phosphates and turbidity which were collected once each day. Bold values represent summary averages and standard deviations (StdDev) across all sites and dates. (continued).

	17- Mar	20- Mar	24- Mar	27- Mar	31- Mar	7-Apr	8-Apr	9-Apr	10-Apr	11-Apr	14-Apr	Mean (All Dates)	StdDev (All Dates)
Site 1	0.7	1.5	1.5	0.5	1.0	no data	1.0	no data	no data	1.0	1.5	1.1	0.37
Site 2	0.7	1.5	1.5	0.5	1.5	no data	1.0	no data	no data	2.0	no data	no data	0.54
Site 3	0.8	1.5	1.5	0.5	1.0	no data	1.0	no data	no data	1.5	1.0	1.1	0.36
Site 4	1.5	1.5	1.5	1.0	1.5	no data	1.0	no data	no data	4.0	1.5	1.7	0.90
Site 5	1.5	1.5	1.5	1	1	no data	1.0	no data	no data	2.5	1.5	1.4	0.46
Mean (all sites)	1.0	1.5	1.5	0.7	1.2		1.0			2.2	1.4	1.3	
StdDev (all sites)	0.4	0.0	0.0	0.3	0.3		0.0			1.2	0.3		0.61
Site 1	2.68	2.70	2.54	1.36	2.70	0.78	no data	no data	no data	no data	2.31	2.15	0.71
Site 2	1.87	2.30	1.97	3.62	2.35	1.03	no data	no data	no data	no data	1.15	2.04	0.80
Site 3	2.00	2.71	1.55	3.69	2.85	1.59	no data	no data	no data	no data	no data	no data	0.84
Site 4	0.58	1.15	0.70	1.13	1.45	0.77	0.40	0.36	0.37	0.39	0.93	0.75	0.36
Site 5	1.30	1.28	1.02	2.06	1.89	0.34	no data	no data	no data	no data	1.49	1.34	0.53
Mean (all sites)	1.69	2.03	1.56	2.37	2.25	0.90				1.47		1.57	
StdDev (all sites)	0.79	0.76	0.73	1.22	0.58	0.46				0.61			0.91

ranged from 26.1 to 28.6 °C, and increased slightly over the study period across all sampling sites, reaching the highest values on April 7. Hourly water temperatures from sampling point 4 were observed to rise and fall with day/night cycles, displaying a range of values with reduced amplitude relative to the fluctuations in air temperature recorded on the roof of the Facundo Bueso building (Fig. 7). Water temperature maxima and minima also lagged slightly behind air temperatures. The water in the stream was slightly alkaline, with pH ranging from 7.11 to 7.40. Specific values varied at each of the five sampling sites from one date to the next, but across all sites higher pH was recorded on April 7 and 14. Total dissolved solids ranged from 0.239 to 0.316 mg/L and exhibited a similar pattern of elevated levels on April 7 and 14. Turbidity was low (≤ 15 NTU) across sampling locations for all sampling dates except for April 11, when readings of 39-110 NTU were recorded across all five sites. The level of dissolved phosphates ranged from about 0.4 to 4.0 g/L across all sites, with consistently lower values observed on March 27. Dissolved oxygen ranged from 0.36 to 3.69 mg/L, with the highest and lowest values measured at several sites on March 27 and April 7, respectively.

During dry periods, flows were observed in stormwater drains, and the presence of fecal coliform was confirmed at the outfall of the Afluente Norte. The review of previous studies confirmed similar temperature, turbidity,

and TDS values (Fuentes-Viera 2009) and that fecal coliforms and *E. coli* had been previously detected in the sewershed water at levels in excess of standards established by the PREQB (Fuentes-Viera 2009, Lucca Santana 2013). Other contaminants had been observed beforehand as well. Fuentes-Viera (2009) reported 8.9 mg/L of hydrocarbons (oil and grease) and 0.12 mg/L of chlorine, levels that also exceed PREQB standards. Lucca Santana (2013) also encountered high levels of residual chlorine in the Afluente Norte on some sampling days, but not others. Pagán Santana (2013) calculated that per capita, about 3 g of solid waste (including plastic, paper, metal, textiles, rubber, glass, and wood) flowed through the Afluente Norte each day. Toxic levels of the inorganic substances aluminum, cadmium, chromium, mercury, and the semi-volatile organic substance Di(2-ethylhexyl) phthalate have been measured in the sediments of the Afluente Norte creek (A. Martinez, unpublished data).

Interception and Infiltration

Canopy density was highly consistent beneath all four quadrants of the *Ceiba* tree studied, and averaged 76.7% ($\pm 0.5\%$) cover. Rainfall amounts measured on April 4 and 7 by the manual rain gauge differed from values recorded by the tipping bucket rain gauge. Averaged interception capacity by the tree for the two dates ranged from 20 to 32% (Table 5).

TABLE 5. Measured throughfall and calculated interception of a broadleaf deciduous tree. Rainfall and throughfall values correspond to accumulated totals rather than specific events.

Date	Rainfall (mm)	Throughfall (mm)	% Throughfall	% Interception
4-Apr	21.6	20.1	93.1	19.8
7-Apr	32.0	22.4	70.0	31.7

The texture of the two compacted and uncompacted soils in the Capetillo Community Garden was classified as loam, and the third soil in the Capetillo Community Urban Forest as silty clay. Results of the infiltration analysis varied among the three sampling sites (Table 6), and did not present any consistent patterns indicating a greater infiltration capacity at one sampling site relative to another. Across sampling dates, the infiltration rate of the uncompacted garden soil tended to increase, while that of the compacted garden soil decreased, and the forest soil both increased and decreased. One of the sampling dates/times occurred soon after an actual precipitation event during which 3.3 mm of rain fell, and for all three sites the rate of infiltration recorded was reduced relative to the previous sampling date when the weather was dry. Finally, the measured infiltration rates for all sites and dates were greater than the maximum rainfall intensity recorded during the study period.

DISCUSSION

Methodological Limitations

This project focused on analyzing the water balance and other environmental characteristics of a small, tropical urban sewershed in

San Juan. Due to the constraints of the course-based context of the study, the temporal scope and field validation components were limited compared to other water balance analyses from both urban and rural locations. Bhaskar et al.'s (2012) analysis in the Baltimore region were conducted across the period 2001-2009, and included satellite-based observations to account for regional storage of groundwater, as well as data on wastewater flows and pipe leakage obtained from comprehensive monitoring programs. Similarly, Schellekens et al.'s (2000) water budget estimates for tropical rain forest catchments in Puerto Rico were based on quantitatively robust records that represented one or more calendar years. In contrast, the current study was conducted for one month during the dry season, and many quantities included in the water balance analysis were based on generalized results, or estimated based on expert opinion, without corroboration in the field.

For example, the chosen values of water usage and leakage are indicative of averages calculated for all of Puerto Rico, and are not necessarily applicable to the study area. A review of municipal data and consultation with local water experts confirms that per capita water use varies significantly across the island

TABLE 6. Infiltration rate for four simulated rainfall events at three locations within the Capetillo Community Garden and Urban Forest.

Location	Infiltration (mm/min)				
	16-Mar	21-Mar	28-Mar	4-Apr	Mean
Capetillo Community Garden - compacted	52.8	40.7	19.4	2.6	28.9
Capetillo Community Garden - uncompacted	11.1	40.7	64.8	11.2	32.0
Capetillo Urban Forest	6.2	1.8	76.4	5.8	22.6

from rural to urban areas, as does pipe leakage (F. Quiñones, personal communication, December, 2016). In lieu of hard field data, it was decided that using average values would reduce errors in one direction or the other that could be generated by using extremes. Still, there is a high probability that these estimated values contain large margins of uncertainty. There are also limitations to using the Curve Number Method for this project, due to very small rain events, complex hydrologic factors and physical processes occurring at the land-atmosphere interface (Cronshey 1986), and the lack of sufficient field data to evaluate the validity of the calculated runoff volumes. Some of this ambiguity may be abridged due to low cumulative rainfall during the study period, and the abundance of impervious surfaces that likely converted a significant portion of the larger rainfall events directly to surface runoff. Furthermore, the conclusion of a local gradient moving groundwater toward the east to the QJM conflicts with the broader patterns of subterranean water movement for the region, which are reported to flow toward the north (Anderson 1976). Additional hydraulic tracer studies are necessary to confirm if subsurface flow to the QJM is occurring.

Taken together, the flow assumptions may be flawed, which potentially invalidates the resulting water balance numbers and associated interpretations. It is tempting to think that the proximity of the derived and observed discharge values verifies the estimated values, but without more field data it is not possible to confirm whether there is a large quantity of groundwater contributing to the discharge of the Afluente Norte, or if wastewater flows and leakage are much greater than anticipated. The complexity of the urban system also underscores the possibility that additional model components are necessary to account for other sources of loss and storage in the study area. These may include runoff from washing of cars with hose water, cracks in sidewalks

that facilitate infiltration, and evaporation from large puddles. For instance, Bhaskar and Welty (2012) incorporated the input of lawn and garden irrigation in Baltimore via a piped water supply, but this component was excluded from the Afluente Norte model because of the virtual lack of green lawns in this densely urbanized setting. In the same Baltimore study, a significant proportion of the urban water balance was determined to drain via infiltration into wastewater pipes under high water table conditions (Bhaskar and Welty 2012). Perhaps modifying the conceptual model for San Juan to reflect such flow pathways would further improve the accuracy of the derived results. It could also help extend the model's applicability to wetter periods throughout the year.

Water Fluxes in a Tropical Urban Setting

The methodological challenges notwithstanding, there are several useful observations illuminated by the water balance exercise. First, the quantitative observation of elevated flow in the Afluente Norte for several dry days following the April 3-5, 2014 rainfall events indicates that there is likely some groundwater discharging to the open channel portion of the stream, the volume of which remains to be measured. Second, the month during which the study was carried out was exceptionally dry. Long-term (1981-2010) averages of monthly precipitation in San Juan during March and April span between 49.5 and 118.9 mm (National Weather Service Weather Forecast Office 2016), and the precipitation value observed was ten millimeters below this range. Thus, the proportional quantities of rainfall and calculated evapotranspiration are probably not representative of the average annual water balance of the Afluente Norte sewershed, but they can provide insight into the water dynamics during drier seasons. Notably, cumulative outflows were exceeded by inflows during the study period, leading to a negative change in storage, and several short-term

water deficits. These effects may intensify in the future, as regional climate models predict a precipitation decline for Puerto Rico over the coming decades (Henareh Khalyani et al. 2016). An increase in drought intensity may be further exacerbated in urban settings like San Juan, because piped storm drainage networks typically lower water tables and inhibit plant uptake of groundwater and nutrients (Groffman et al. 2003).

Third, the lack of rainfall provided an opportunity to look intensely at the role of urban infrastructure in the sewershed, and observe that human-engineered components dominate this hydrologic system. Even though their quantities were based on assumed proxies, it seems likely that potable water and wastewater pipes contributed significantly to watershed inputs, while both leakage and treated wastewater comprised the bulk of watershed outputs. Studies from other cities (e.g., Bhaskar et al., 2015; Burns et al., 2012; Garcia-Fresca, 2007; Lerner, 2002) have likewise shown that subsurface storage and stormwater discharge can be strongly influenced by leakage from potable water pipes, and can dominate over the influences of impervious surfaces. In contrast, during the brief moments when stormwater pipes are surcharged, the direction of flow is temporarily reversed, with localized leakage outward to groundwater occurring (Eiswirth et al. 2004, Bhaskar et al. 2015). One area of research that needs further study is the role leaked water might play in the evapotranspiration process. Trees in the Afluyente Norte and other urban areas of San Juan may be amply supplied with subsurface groundwater that originates from leaky pipes, which would thereby invalidate traditional ET calculations. Grimmond and Oke (1991) recognized the need for improved estimation of evapotranspiration processes in urban areas, and presented a model for calculating ET under diverse meteorological conditions and changing water availability. Yet

it does not adequately account for leakage from surcharged water infrastructure, which can vary considerably over short distances in accordance with micro-scale landscape conditions (Band et al. 2005).

A fourth upshot of the water balance was the observation that water periodically flows in storm drains of the Afluyente Norte during dry periods. Despite the lack of field data, it is worth contemplating possible sources for the benefit of directing follow-up research activities. One reasonable option is the use of domestic water for common outdoor tasks, such as car washing (Molina-Rivera 2016), and gray water discharges from residential properties, which were visually observed by the authors during the study period. The confirmed presence of fecal coliforms during dry days may be an indicator of illegal wastewater discharges into the storm sewer system, as have been reported in other San Juan sewersheds (CSA Architects and Engineering, 2009; Puerto Rico Aqueduct and Sewer Authority, 2013). However, this possibility is unlikely in the Afluyente Norte, as the entire area is served by piped infrastructure that drains to a nearby water treatment plant. It is more plausible that wastewater filtered into the groundwater via tube ruptures, and that groundwater subsequently infiltrated into the stormwater system through cracks and improper connections. Even though sanitary tubes are installed below the elevation of stormwater and potable water supplies (F. Quiñones, personal communication, December, 2016), and despite the topographically-derived conclusion that the piped water infrastructure was above the inferred height of the water table, there could have been intervals following heavy precipitation events (e.g., April 3-5) when the phreatic level remained high in the soil profile and intersected with stormwater conduits. This inference is consistent with the hydrologic dynamics of variable source areas that have been observed in urban settings, where the depth of subsurface saturation varies temporally with

infiltration capacity and total rainfall depth and intensity (Easton et al. 2007, Miles and Band 2015). Again, these conclusions about local exchanges between groundwater and water infrastructure in the Afluente Norte sewershed are wholly qualitative, yet highlight areas for focusing future field investigations.

Management Considerations

Water Quality

Biological and chemical contaminants in the Afluente Norte are of concern because of the sewershed's hydrological connectivity with the San Juan Bay Estuary, the only tropical estuary in the National Estuary Program administered by the EPA. The presence of fecal bacteria is likely not a recent phenomenon in this area. Going back more than a decade, the Juan Méndez Stream has been identified as a source of pollutant discharges to the estuary related to fecal coliform loadings that occur during dry periods (San Juan Bay Estuary Program 2000). Excessive concentrations of hydrocarbons, heavy metals and semi-volatile organic substances in the soils of the Capetillo Urban Forest potentially pose dangers to aquatic life and human health both in the sewershed and downstream. There are a couple of mechanic shops situated about 100 m upslope of the forest, and they may be contributing point sources of these contaminants. It is also possible that the pollutants are remnants of the former dwellings that once occupied the area. Chlorine in the water discharging from the Afluente Norte could originate from leaking potable water pipes (Lerner 2002), but is more likely to indicate residual uses from domestic tasks (Fuentes-Viera 2009, Lucca Santana 2013). It is common practice in Puerto Rico to clean balconies, garages, and other external surfaces with chlorine-based products, the wastewater from which is commonly flushed into the street and flows downslope to eventually enter the stormwater sewer system. The inputs of chlorine

may therefore be temporally variable depending on the cleaning schedules of residents. This could explain why higher concentrations were observed on some sampling dates, but not others. Additional data collection is needed to sustain these conjectures.

Other water quality parameters of the Afluente Norte appear to be temporally dynamic as well. The slightly elevated TDS, turbidity, and phosphate values observed in early and mid-April may have resulted from the precipitation events that occurred April 3-5 and April 13, and an influx of sediment and nutrients from surface runoff. Regarding daily cycles, it is logical that temperatures would wax and wane with daytime/evening cycles, and that the magnitude of the fluctuations would be reduced compared to the air temperature, both due to the high specific heat of water, and the underground nature of a large portion of the stream. The circadian cycle of discharge could imply that a large portion of the residential population leaves the sewershed during weekday working hours.

The levels of dissolved oxygen measured in the Afluente Norte were low. All values were below the 5 mg/L minimum threshold established by the PREQB, and the average concentration of 1.57 mg/L was roughly half of the lowest reading reported by de Jesus and Ramírez (2011) for urban streams in nearby Río Piedras Watershed. However, Fuentes-Viera (2009) recorded a slightly higher concentration of 3.42 mg/L for the Afluente Norte during the dry season. These low values may occur as a result of large quantities of organic material and high biochemical oxygen demand, which have been reported in the stream (Fuentes-Viera 2009, Lucca Santana 2013). Also, much of the stream is buried in a pipe below the ground, which prohibits photosynthesis and the production of oxygen. Low dissolved oxygen may also be indicative of groundwater contributing to stream discharge, as groundwater is naturally

low in dissolved oxygen. Interestingly, the highest dissolved oxygen values were recorded on March 27, a date prior to which no rain had fallen for several days. It is possible that there was an influx of surface water, perhaps from a localized discharge into the stormwater sewer system, or from a broken pipe. This hypothesis is supported by the continuous discharge data (Fig.7), which recorded a small pulse of 6.0×10^{-3} m³/s that day, a magnitude twice as large as the maximum volume recorded in previous days and for several days afterwards.

Temperature and turbidity measurements for the Afluente Norte are comparable to results obtained by Ramirez et al. (2014) and de Jesus and Ramirez (2011) for several other urban streams in the heavily developed coastal plain of San Juan. In contrast, the average pH that was detected in the Afluente Norte was 0.28 to 0.42 units less than the average pH reported by those same studies. Again, these lower numbers may reflect the buried nature of most of the Afluente Norte, and the reduced presence of soluble ions relative to open channel streams in the city.

Hydrologic alteration of flow volumes, increased sedimentation, higher water temperature, and contaminant inputs from wastewater effluents and stormwater runoff have all been documented as stressors for aquatic communities in urban streams and downstream waters (Paul and Meyer 2001, Allan 2004, Walsh et al. 2005). In addition to fecal bacteria (San Juan Bay Estuary Program 2000), high solute concentrations and elevated levels of nitrates and ammonium have also been detected in the streams that drain to the SJBE (Ortiz-Zayas et al. 2006, de Jesús-Crespo and Ramírez 2011, Ramírez et al. 2014), indicative of the robust influence that human development processes have on urban waters in the city. The presence of these contaminants jeopardizes the goals of the SJBE Program, whose Conservation and Management Plan

includes eliminating direct and indirect sewage discharges to the various canals and lagoons of the estuary to diminish nutrient and pathogen loadings, reduce the quantity of aquatic debris reaching estuarine waters, and preserve ecologically important habitat through the reduction of chemical pollutants (San Juan Bay Estuary Program 2000). The results also reveal a deficiency in the implementation of the Clean Water Act that prohibits the discharge of any pollutant to waters of the United States from point sources unless the discharge is authorized by a National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES) permit (Environmental Protection Agency 2016). Both private residents of San Juan, as well as the city itself, are required to comply with the NPDES municipal storm water discharge permits, which strive to ensure that storm water from the municipal sewer system is managed using best practices that reduce pollution from illicit discharges and surface runoff (Environmental Protection Agency 2008). Many of these issues are being addressed via federal-state partnership programs such as the Clean Water State Revolving Fund program, and San Juan's Municipal Storm Water Sewer System program, particularly in coastal neighborhoods bordering canals and lagoons (M. Matos, personal communication, March, 2014). Yet it is clear from this study that upstream urban sewersheds and buried channels such as the Afluente Norte need to be targeted as well.

Aging Infrastructure and Integrated Management

The findings about the prominent effect of leakage and infiltration on subsurface storage highlight another important management consideration in the sewershed, throughout San Juan, and indeed many parts of Puerto Rico: the abundance of aging, inadequate infrastructure. Many urban communities in the lowlands of the San Juan Bay Estuary developed rapidly following World War II on former wetlands,

aided by dredging, filling, and channelization of rivers (Lugo et al. 2011). In some cases, this occurred without adequate planning and as a result of unauthorized residential construction in sensitive ecological areas (U.S. Army Corps of Engineers, 2004). A 2011 report to Congress about the drinking water infrastructure priorities for Puerto Rico concluded that over \$3 billion in improvements were needed over the next twenty years to ensure the provision of safe drinking water to the public. With respect to the stormwater infrastructure, a 2009 assessment of select areas throughout San Juan found high instances of blocked and collapsed drainages, inadequate pipe diameters to handle flow volumes, and illicit connections between stormwater and sanitary sewers (CSA Architects and Engineering 2009). In 2015, the Puerto Rico Aqueduct and Sewer Authority reached a settlement with the U.S. Department of Justice and the U.S. Environmental Protection Agency in which it agreed to make major upgrades, improve inspection and cleaning of facilities within the Puerto Nuevo system, located within the San Juan Metropolitan area. Total expenditures to bring the storm water system into compliance were estimated at \$1.5 billion (Environmental Protection Agency 2015).

Puerto Rico's situation is not isolated, however. It is representative of a broader problem rampant in older cities throughout the United States (Powell 2010). In its 2013 Report Card for America's Infrastructure, the American Society for Civil Engineers reported that hundreds of billions of dollars of reparations are needed to update the millions of kilometers of aging water infrastructure in America's cities. This includes the fixing or replacement of pipes to address water main breaks, sanitary sewer overflows, combined sewer overflows, and other pipe-related issues (American Society of Civil Engineers 2013). Collectively, aging infrastructure of all types can greatly influence water flows and sediment and nutrient loads in urban watershed, including the

transport of carbon, nitrogen and other solutes downstream from suburban areas to receiving waters (Kaushal and Belt 2012). Continued degradation of water infrastructure without proper maintenance and capital investments can have lasting downstream effects on habitat quality (Doyle et al. 2008), and can potentially exacerbate flooding of human communities during intense storm events (Liao 2014).

Globally, the topic of urban water sustainability has emerged as one of the major challenges of the urbanizing world. Larsen et al. (2016) describe several shortcomings of the centralized water management systems that predominate in the Global North, and the limitations of expanding that paradigm to developing nations with burgeoning urban populations in the Global South. These include the dependence on large quantities of water, high investment costs for development and long-term maintenance, the dominance of centralized management systems, the need for stable socio-economic conditions and governing institutions, and the inefficient use of resources (Larsen et al. 2016). How countries respond to these issues and the management policies they embrace will be critical not only for the present but also future generations, because development trajectories and the water resource systems installed in cities leave long-term legacies on urban hydrologic responses (Hopkins et al. 2015, Parr et al. 2016, Hale 2016) water quality, and flood risk, and has changed substantially over history, but it is unknown how these paradigm shifts play out at the local scale and whether local changes in stormwater infrastructure use follow similar trajectories across cities. This research addressed: (1. Among the alternative paradigms that are emerging are adaptive and ecosystem-based management approaches that incorporate distributed, integrated systems technologies to increase water and energy use efficiencies and lower costs (Pahl-Wostl et al. 2011, Larsen et al. 2016).

In applied terms, much of the contemporary water management literature focuses on small-scale, “blue-green” infrastructure projects to mitigate the unwanted consequences of urbanization through 1) a reduction in hydraulically connected impervious surfaces and an increase in pervious surfaces such as green roofs, roadside swales, stormwater detention ponds and riparian buffers (Carter and Jackson 2007, Tucci 2007, Walsh et al. 2012, Faust and Abraham 2016), and 2) decrease in the volume and velocity of downstream stormwater flows through the restoration of hydrologically-altered streams (Wild et al. 2011, Roni and Beechie 2012), such as the Quebrada Juan Méndez. Indeed, many of San Juan’s water quality issues discussed earlier are being addressed via innovative stormwater recapture, wastewater treatment, and habitat restoration projects. The finding that the infiltration rate of both compacted and uncompacted soils in the Afluente Norte sewershed was greater than the maximum intensity of the rainfall events experienced supports this green infrastructure perspective. Then again, there were no extended spells of intense rainfall during the study period. However, intense rainfall events and flash flooding are characteristic of the watersheds in northeastern Puerto Rico (Ramírez et al. 2009). Recent research on rainfall interception in San Juan reveals that urban trees may only be effective at reducing canopy throughfall and mitigating surface runoff from short, low-intensity events; for longer, higher-intensity events – which occur frequently during wetter seasons in Puerto Rico (National Oceanic and Atmospheric Administration 2014) – interception losses can be minimal or even negative (Nytch et al., unpublished data). Furthermore, groundwater fluxes from poorly maintained subsurface water infrastructure often constitute a significant portion of the water balance in urban settings (Bhaskar et al. 2015). Therefore, a diversity of complementary mitigation and adaptation strategies that address variable hydrometeorological

conditions, along with surface and subsurface flow processes, must be employed to sustainably manage the water resource needs of human and aquatic communities alike in this era of rapid social and climatic change. Effectively implementing such strategies will further require organizational and institutional reforms that bridge science and policy and respond to complex water problems with transdisciplinary solutions (Larsen et al. 2016).

Educational Aspects

A primary objective of this project was to engage a team of environmental science graduate and undergraduate students in the collaborative process of exploring the multidisciplinary facets of hydrologic processes in an urban setting. Central to the learning approach was development of a conceptual model of the urban hydrologic system, based on a review of the relevant literature. This model was then used to design and apply diverse field-based methods or seek out expert opinions to quantify several components of the water balance and environmental quality within the sewershed. The findings were subsequently interpreted within the broader contexts of the San Juan Bay Estuary and the arena of urban water systems management. Through a series of presentations, the approaches, progress, and findings of groups of students who focused on different aspects of the system were conveyed to the rest of the class and members of the San Juan water resources community. Together these project components emphasized cognitive skills related to research creation and original thought, the connection of disparate ideas from the fields of hydrology, engineering, demographics, ecology, and environmental science, the integration of content and practice, critical thinking and analysis via the application of mathematics, and effective communication to an audience of peers. Team-based cooperation toward the accomplishment of specific tasks and the collaborative generation of scientific

knowledge was also key to the project's execution. Many of these skills are aligned with strategic priorities and strategies outlined in the Federal Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education Strategic Plan to foster success in science and innovation (National Science and Technology Council 2013), as well as objectives of the UPRRP's Strategic Plan (Universidad de Puerto Rico-Río Piedras 2016).

The educational outcomes of the project were not formally evaluated, but anecdotal student feedback suggests that the field-based and cooperative approach was productive. There are several important learning points worth highlighting. First, the conceptual model did not completely capture the system's complexity, and due to time constraints and the lack of certain data, many simplifying assumptions were, which may have resulted in erroneous conclusions. Besides the estimations made for determining some inflow and outflow parameters, where the sewershed boundaries were established and the approximate depths of water pipes were based on the limited water system infrastructure data that were available. Nevertheless, the model was a useful heuristic tool for studying the sewershed in both a qualitative and semi-quantitative manner. The development of this model required students to use the scientific method and critical analytical skills to operationalize the hydrological concepts. Then based on their experiences in the field, they were challenged to iteratively re-configure and rationalize the framework they developed. This provided excellent 'real-world' experience and helped strengthen critical and creative thinking skills.

Second, there was considerable variance in some of the data collected, due to spatio-temporal variability in hydrometeorological processes (Mejía and Moglen 2010), the use of distinct measurement techniques with unique levels of precision, and human error.

For example, there was a discrepancy in the precipitation measured by the tipping bucket gauge versus the manual rain gauge. This can be explained in part by the methodological difference that the automatically recorded data were calculated per individual events, while the manual data represented cumulative totals across multiple events. Even so, it is possible that different quantities of rainfall fell between the two locations during a given event, because patterns of rainfall and land-atmosphere interactions can fluctuate considerably in urban areas (Band 2005). Mendez Lazaro (2014) reported variability of rainfall across the San Juan metropolitan area for individual storm events, which contributes to high spatial complexity and difficulty in assessing long-term trends. Similarly, the ET values calculated on the rooftop were greater than those from the ground-based locations, presumably because of microclimatic differences in wind speed and surface albedo. Consequently, had alternative values for many of the measured and estimated water balance components been used in the final calculations, the results of the analysis could have been considerably different. Third, there were occasional difficulties working with such a large group of individuals, including keeping track of data and communicating information across groups. Future endeavors of a similar nature would benefit from establishing at the outset an organized data management plan. Despite those challenges, an extraordinary amount of work was accomplished in a short amount of time. More importantly, the scientific method was applied to a complex system, and in the process, new skills were learned and new knowledge was generated that can improve understanding of hydrologic processes in urban settings.

CONCLUSION

Urban water balances are influenced by hydrometeorological processes, human land use activities, and piped infrastructure built

for potable, sanitary, and stormwater purposes. The complexity of surface and subsurface features, interactions, and flow pathways creates challenges for quantifying the spatio-temporal dynamics of water fluxes through urban systems. Aging infrastructure in older cities further complicates the situation. A paucity of data from tropical settings and the Global South limits the ability to draw inferences about future water issues in rapidly urbanizing regions and in response to changing climatic patterns.

This study investigated the water balance and environmental quality of a small urban sewershed in San Juan during the dry season. Despite methodological limitations that constrained the accuracy of some flow components, it is evident that subsurface water infrastructure played a major role in both hydrologic inputs and outputs, and groundwater likely contributed to stream discharge as well. By comparison, the roles of surface runoff and evapotranspiration were limited. Additional field data and longer-term analysis throughout one or more water years is needed to develop a complete water balance. Regarding water quality, the empirical measurements and those conducted previously by other students confirm that there are several organic and inorganic pollutants originating from and/or traveling through the sewershed, discharging to the Juan Méndez Stream, and eventually San Juan Bay Estuary. These findings concur with studies from temperate urban watersheds with aging infrastructure, highlighting the central role of anthropogenic activities in driving urban water and biogeochemical fluxes across distinct biomes. Addressing both the infrastructure maintenance and contamination issues together in an integrated fashion will be required to effectively mitigate the negative socio-economic and ecological consequences for aquatic and human communities. Likewise, at the global level, adapting water systems and management strategies to cope with

the dynamic social and climatic conditions anticipated in the heavily urbanized world of the 21st century will depend on innovative and interdisciplinary technological and policy approaches at multiple scales.

Finally, this project was conducted using a collaborative team approach in a university setting, aimed at teaching fundamental principles about water resources, and practical skills for collecting, analyzing, interpreting, and communicating scientific data. By developing and linking a conceptual model with field-based measurements, participants were able to accompany theoretical ideas with real-world experience, evaluate the strengths and weaknesses of the model and methodologies, and add to the body of scientific understanding about urban hydrologic processes.

ACKNOWLEDGEMENTS

The project upon which this manuscript is based was conducted with the generous support of the following individuals and institutions: the undergraduate students of the 2014 Environmental Science course in Aquatic Resources at UPRRP; Dr. Germán Ramos and the Family Ecology Garden; Dr. Rafael Ríos; Ferdinand Quiñones; Sigfredo Torres and the U.S. Geological Survey; Peter Rivera of PRASA; the staff of the Capetillo Community Garden; the residents of the community of Capetillo and NSF IGERT Grant #0801577.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

C.J. Nytch, J. Fortuné, M.M. Ramsey, J. Meléndez, M.A. Sánchez García, A.V. Arache, J.A. Fontánez Pérez, and J.R. Ortiz-Zayas all participated in the collection and analysis of data. C.J. Nytch, J. Fortuné, M.M. Ramsey, and J.R. Ortiz-Zayas developed the organizational layout of the manuscript. C.J. Nytch prepared the text and figures. C.J. Nytch, J. Fortuné, M.M. Ramsey, J. Meléndez, M.A. Sánchez-

García, A.V. Arache, J.A. Fontánez Pérez, and J.R. Ortiz-Zayas contributed to the literature review, and editing for content and language.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

LITERATURE CITED

- Allan, J.D. 2004. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. *Annual review of ecology, evolution, and systematics* 35:257–284.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements- FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome 300:D05109.
- American Society of Civil Engineers. 2013. Report card for America's infrastructure. <http://www.infrastructurereportcard.org/a/documents/2013-Report-Card.pdf>.
- Anderson, H.R. 1976. Ground water in the San Juan metropolitan area, Puerto Rico. U.S. Geological Survey Water Resources Investigations. Ft. Buchanan, PR: U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.
- Baltimore Ecosystem Study. 2012. Sewershed. <http://besurbanlexicon.blogspot.com/2012/06/sewershed.html>.
- Band, L.E., M.L. Cadenasso, C.S. Grimmond, J.M. Grove, and S.T.A. Pickett. 2005. Heterogeneity in urban ecosystems: patterns and process. Pages 257–278 *Ecosystem function in heterogeneous landscapes*. Springer.
- Bhaskar, A. ., and C. Welty. 2012. Water balances along an urban-to-rural gradient of metropolitan Baltimore, 2001 – 2009. *Environmental & Engineering Geoscience* 18:37–50.
- Bhaskar, A.S., C. Welty, R. M. Maxwell, and A.J. Miller. 2015. Untangling the effects of urban development on subsurface storage in Baltimore. *Water Resources Research* 51:1158–1181.
- Brooks, K.N., P. F. Ffolliott, and J. A. Magner. 2012. *Hydrology and the Management of Watersheds*. John Wiley & Sons.
- Buchanan, T.J., and W.P. Somers. 1969. Discharge measurements at gaging stations. U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, Book 3, Chapter A8, US Government Printing Office Washington, DC.
- Burns, M.J., T.D. Fletcher, C.J. Walsh, A.R. Ladson, and B.E. Hatt. 2012. Hydrologic shortcomings of conventional urban stormwater management and opportunities for reform. *Landscape and Urban Planning* 105:230–240.
- Carter, T., and C.R. Jackson. 2007. Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales. *Landscape and urban planning* 80:84–94.
- Claessens, L., C. Hopkinson, E. Rastetter, and J. Vallino. 2006. Effect of historical changes in land use and climate on the water budget of an urbanizing watershed. *Water Resources Research* 42:W03426.
- Cronshey, R. 1986. *Urban hydrology for small watersheds*. US Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service, Engineering Division.
- CSA Architects and Engineering. 2009. Estudio del problema de inundaciones en el municipio de San Juan, Puerto Rico.
- Dixon, P.G., and T.L. Mote. 2003. Patterns and causes of Atlanta's urban heat island-initiated precipitation. *Journal of Applied Meteorology* 42:1273–1284.
- Doyle, M.W., E.H. Stanley, D.G. Havlick, M.J. Kaiser, G. Steinbach, W.L. Graf, G.E. Galloway, and J.A. Riggsbee. 2008. Aging infrastructure and ecosystem restoration. *Science* 319:286–287.

- Dunin, F.X. 1991. Extrapolation of “point” measurements of evaporation: some issues of scale. *Vegetatio* 91:39–47.
- Dunne, T., and L.B. Leopold. 1978. *Water in Environmental Planning*. Macmillan.
- Easton, Z.M., P. Gérard-Marchant, M.T. Walter, A.M. Petrovic, and T.S. Steenhuis. 2007. Hydrologic assessment of an urban variable source watershed in the northeast United States. *Water Resources Research* 43:W03413.
- Eiswirth, M., L. Wolf, and H. Hötzl. 2004. Balancing the contaminant input into urban water resources. *Environmental Geology* 46:246–256.
- Elmore, A.J., and S.S. Kaushal. 2008. Disappearing headwaters: patterns of stream burial due to urbanization. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6:308–312.
- Environmental Protection Agency. 2008. Permit Application (Notice of Intent) of the Municipality of San Juan for the National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES) Phase II, Regulated Small Municipal Separate Storm Sewer Systems (MS4). San Juan, PR.
- Environmental Protection Agency. 2015. Puerto Rico Aqueduct and Sewer Authority, et al. Clean Water Act Settlement. <https://www.epa.gov/enforcement/puerto-rico-aqueduct-and-sewer-authority-et-al-clean-water-act-settlement>.
- Environmental Protection Agency. 2016. National Pollutant Discharge Elimination System. <https://www.epa.gov/npdes>.
- Faust, K.M., and D.M. Abraham. 2016. Impact assessment of stormwater alternatives on generated runoff in cities experiencing urban decline. *Procedia Engineering* 145:540–547.
- Fuentes-Viera, K. 2009. Caracterización de un Río Urbano: Caso Quebrada Juan Méndez en Río Piedras. Tesina de investigación presentada como parte de los requisitos para el grado de Bachiller en Ciencias con especialización en Ciencias Ambientales. Programa de Ciencias Ambientales, Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras.
- García-Fresca, B. 2007. Urban-enhanced groundwater recharge: review and case study of Austin, Texas, USA. Page Urban Groundwater, Meeting the Challenge: IAH Selected Papers on Hydrogeology 8. CRC Press.
- Grimmond, C.S.B., and T. R. Oke. 1986. Urban water balance: 2. Results from a suburb of Vancouver, British Columbia. *Water Resources Research* 22:1404–1412.
- Grimmond, C.S.B., and T.R. Oke. 1991. An evapotranspiration–interception model for urban areas. *Water Resources Research* 27:1739–1755.
- Grimmond, C.S.B., T.R. Oke, and D.G. Steyn. 1986a. Urban water balance: 1. A model for daily totals. *Water Resources Research* 22:1397–1403.
- Grimmond, C.S.B., T.R. Oke, and D.G. Steyn. 1986b. Urban water balance: 1. A model for daily totals. *Water Resources Research* 22:1397–1403.
- Groffman, P.M., D.J. Bain, L.E. Band, K.T. Belt, G.S. Brush, J.M. Grove, R.V. Pouyat, I.C. Yesilonis, and W.C. Zipperer. 2003. Down by the riverside: urban riparian ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1:315–321.
- Hager, G.W., K.T. Belt, W. Stack, K. Burgess, J.M. Grove, B. Caplan, M. Hardcastle, D. Shelley, S.T. Pickett, and P.M. Groffman. 2013. Socioecological revitalization of an urban watershed. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11:28–36.
- Hale, R. 2016. Spatial and temporal variation in local stormwater infrastructure use and stormwater management paradigms over the 20th century. *Water* 8:310.

- Harmsen, E.W., S.E. G. Mesa, E. Cabassa, N.D. Ramírez-Beltran, S.C. Pol, R.J. Kuligowski, and R. Vasquez. 2008. Satellite sub-pixel rainfall variability. *International Journal of Systems Applications, Engineering & Development* 2:91–100.
- Henareh Khalyani, A., W.A. Gould, E. Harmsen, A. Terando, M. Quinones, and J.A. Collazo. 2016. Climate change implications for tropical islands: interpolating and interpreting statistically downscaled GCM projections for management and planning. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 55:265–282.
- Herron, N., and C. Wilson. 2001. A water balance approach to assessing the hydrologic buffering potential of an alluvial fan. *Water Resources Research* 37:341–351.
- Holdridge, L.R. 1967. *Life Zone Ecology*. Tropical Science Center, San José, Costa Rica.
- Hopkins, K.G., N.B. Morse, D.J. Bain, N.D. Bettez, N.B. Grimm, J.L. Morse, and M.M. Palta. 2015. Type and timing of stream flow changes in urbanizing watersheds in the Eastern US. *Elementa: Science of the Anthropocene* 3:56.
- de Jesús-Crespo, R., and A. Ramírez. 2011. Effects of urbanization on stream physicochemistry and macroinvertebrate assemblages in a tropical urban watershed in Puerto Rico. *Journal of the North American Benthological Society* 30:739–750.
- Kaushal, S.S., and K.T. Belt. 2012. The urban watershed continuum: evolving spatial and temporal dimensions. *Urban Ecosystems* 15:409–435.
- Larsen, T.A., S. Hoffmann, C. Lüthi, B. Truffer, and M. Maurer. 2016. Emerging solutions to the water challenges of an urbanizing world. *Science* 352:928–933.
- Lerner, D.N. 2002. Identifying and quantifying urban recharge: a review. *Hydrogeology Journal* 10:143–152.
- Liao, K.H. 2014. From flood control to flood adaptation: a case study on the Lower Green River Valley and the City of Kent in King County, Washington. *Natural Hazards* 71:723–750.
- Lowry, W.P. 1998. Urban effects on precipitation amount. *Progress in Physical Geography* 22:477–520.
- Lucca Santana, E.I. 2013. *La calidad del agua de las escorrentías urbanas en Río Piedras, San Juan, Puerto Rico*. Undergraduate thesis. University of Puerto Rico-Río Piedras.
- Lugo, A.E., O.M.R. González, and C.R. Pedraza. 2011. *The Río Piedras Watershed and its surrounding environment*. FS-980. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry, San Juan, Puerto Rico.
- Mejía, A.I., and G.E. Moglen. 2010. Impact of the spatial distribution of imperviousness on the hydrologic response of an urbanizing basin. *Hydrological processes* 24:3359–3373.
- Méndez-Lázaro, P.A., A. Nieves-Santiago, and J. Miranda-Bermúdez. 2014. Trends in total rainfall, heavy rain events, and number of dry days in San Juan, Puerto Rico, 1955-2009. *Ecology and Society* 19:50.
- Meyer, J.L., M.J. Paul, and W.K. Taulbee. 2005. Stream ecosystem function in urbanizing landscapes. *Journal of the North American Benthological Society* 24:602–612.
- Miles, B., and L.E. Band. 2015. Green infrastructure stormwater management at the watershed scale: urban variable source area and watershed capacitance. *Hydrological Processes*:n/a-n/a.
- Molina-Rivera, W.L. 2014. *Estimated Water Use in Puerto Rico, 2010*. U.S. Geological Survey Open-File Report 2014-1117. <http://dx.doi.org/10.3133/ofr20141117>.

- Molina-Rivera, W.L. 2016. Estimated water use in Puerto Rico, 2014. Internal Report – Prepared as part of the Joint Funding Agreement between the U.S. Geological Survey and the Puerto Rico Aqueduct and Sewer Authority.
- Molina-Rivera, W.L., and F. Gómez-Gómez. 2008. Estimated water use in Puerto Rico, 2005. U.S. Geological Survey Open-file report 2008-1286. http://pubs.usgs.gov/of/2008/1286/OFR_2008_1286.pdf.
- National Oceanic and Atmospheric Administration, N. W. S. 2014. NOAA atlas 14 point precipitation frequency estimates. http://hdsc.nws.noaa.gov/hdsc/pfds/pfds_map_cont.html?bkmrk=md.
- National Science and Technology Council. 2013. Federal science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education 5-year strategic plan.
- National Weather Service Weather Forecast Office. 2016. Climatological Report (Monthly) for San Juan, Puerto Rico. <http://forecast.weather.gov/product.t=CLM&format=CI&glossary=0>.
- Ortiz-Zayas, J.R., E. Cuevas, O.L. Mayol-Bracero, L. Donoso, I. Trebs, D. Figueroa-Nieves, and W.H. McDowell. 2006. Urban influences on the nitrogen cycle in Puerto Rico. *Biogeochemistry* 79:109–133.
- Pagán Santana, M. (n.d.). Caracterización de desperdicios sólidos en el Afluente Norte de la Quebrada Juan Méndez en Río Piedras. University of Puerto Rico, Río Piedras. Undergraduate thesis.
- Pahl-Wostl, C., P. Jeffrey, N. Isendahl, and M. Brugnach. 2011. Maturing the new water management paradigm: progressing from aspiration to practice. *Water Resources Management* 25:837–856.
- Parr, T.B., N.J. Smucker, C.N. Bentsen, and M.W. Neale. 2016. Potential roles of past, present, and future urbanization characteristics in producing varied stream responses. *Freshwater Science* 35:436–443.
- Paul, M.J., and J.L. Meyer. 2001. Streams in the urban landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics* 32:333–365.
- Puerto Rico Aqueduct and Sewer Authority. 2013. Reconnaissance inspection with sampling, July 16, 17, and 18, 2012, portions of the Río Piedras River, Quebrada Doña Ana, Quebrada San Antón, Quebrada Juan Méndez, Caño Puerto Nuevo, Quebrada Sabana Llana watersheds, Municipality of San Juan. San Juan, Puerto Rico.
- Puerto Rico Environmental Quality Board. 2014. Puerto Rico water quality standards regulation, as amended August, 2014.
- Ramírez, A., R. De Jesús-Crespo, D.M. Martínó-Cardona, N. Martínez-Rivera, and S. Burgos-Caraballo. 2009. Urban streams in Puerto Rico: what can we learn from the tropics? *Journal of the North American Benthological Society* 28:1070–1079.
- Ramírez, A., K. G. Rosas, A.E. Lugo, and O.M. Ramos-González. 2014. Spatio-temporal variation in stream water chemistry in a tropical urban watershed. *Ecology and Society* 19:45.
- Roni, P., and T. Beechie, editors. 2012. Stream and watershed restoration: a guide to restoring riverine processes and habitats. John Wiley & Sons.
- Roy, A.H., A.L. Dybas, K.M. Fritz, and H.R. Lubbers. 2009. Urbanization affects the extent and hydrologic permanence of headwater streams in a midwestern US metropolitan area. *Journal of the North American Benthological Society* 28:911–928.
- Roy, A.H., and W.D. Shuster. 2009. Assessing impervious surface connectivity and applications for watershed management. *Journal of the American Water Resources Association* 45:198–209.
- San Juan Bay Estuary Program. 2000. Comprehensive Conservation and Management Plan. San Juan, Puerto Rico.

- Sanders, R.A. 1986. Urban vegetation impacts on the hydrology of Dayton, Ohio. *Urban Ecology* 9:361–376.
- Schellekens, J., L.A. Bruijnzeel, F. N. Scatena, N.J. Bink, and F. Holwerda. 2000. Evaporation from a tropical rain forest, Luquillo Experimental Forest, eastern Puerto Rico. *Water Resources Research* 36:2183–2196.
- Schellekens, J., F.N. Scatena, L.A. Bruijnzeel, and A.J. Wickel. 1999. Modelling rainfall interception by a lowland tropical rain forest in northeastern Puerto Rico. *Journal of Hydrology* 225:168–184.
- Sentelhas, P.C., and M.V Folegatti. 2003. Class A pan coefficients (Kp) to estimate daily reference evapotranspiration (ET_o). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 7:111–115.
- Shuster, W.D., J. Bonta, H. Thurston, E. Warnemuende, and D.R. Smith. 2005. Impacts of impervious surface on watershed hydrology: A review. *Urban Water Journal* 2:263–275.
- Snyder, R.L. 1992. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 118:977–980.
- Stephenson, D. 1994a. Comparison of the water balance for an undeveloped and a suburban catchment. *Hydrological Sciences Journal* 39:295–307.
- Stephenson, D. 1994b. Comparison of the water balance for an undeveloped and a suburban catchment. *Hydrological Sciences Journal* 39:295–307.
- Tucci, C.E. M. 2007. Urban flood management. World Meteorological Organization and Capnet.
- U.S. Army Corps of Engineers. 2004. Reconnaissance report, section 905(b) (WRDA 86) Analysis Caño Martín Peña, Puerto Rico, ecosystem restoration. Jacksonville District.
- United Nations. 2014. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights. Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
- Universidad de Puerto Rico-Río Piedras. 2016. Visión Universidad 2016: Plan estratégico Universidad de Puerto Rico Recinto de Río Piedras.
- Walsh, C.J., T.D. Fletcher, and M.J. Burns. 2012. Urban stormwater runoff: a new class of environmental flow problem. *PloS one* 7:e45814.
- Walsh, C.J., A.H. Roy, J.W. Feminella, P.D. Cottingham, P.M. Groffman, and R.P.I. Morgan. 2005. The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. *Journal of the North American Benthological Society* 24:706–723.
- Webb, R.M.T., and F. Gomez-Gomez. 1998. Synoptic survey of water quality and bottom sediments, San Juan Bay Estuary system, Puerto Rico, December 1994-July 1995. US Geological Survey Water Resources Investigations Report 97-4144:San Juan, Puerto Rico.
- Welty, C., A. Miller, K. Belt, and J. Smith. 2007. Design of an environmental field observatory for quantifying the urban water budget. Pages 72–88 in V. Novotny and P. Brown, editors. *Cities of the future: towards integrated sustainable water and landscape management*. London: International Water Association.
- Wild, T.C., J.F. Bernet, E. L. Westling, and D.N. Lerner. 2011. Deculverting: reviewing the evidence on the “daylighting” and restoration of culverted rivers. *Water and Environment Journal* 25:412–421.
- Wohl, E., A. Barros, N. Brunzell, N. a. Chappell, M. Coe, T. Giambelluca, S. Goldsmith, R. Harmon, J.M.H. Hendrickx, J. Juvik, J. McDonnell, and F. Ogden. 2012. The hydrology of the humid tropics. *Nature Climate Change* 2:655–662.

Xiao, Q., and E.G. McPherson. 2011. Rainfall interception of three trees in Oakland, California. *Urban Ecosystems* 14:755–769.

Xiao, Q., E.G. McPherson, S.L. Ustin, M.E. Grismer, and J.R. Simpson. 2000. Winter rainfall interception by two mature open-grown trees in Davis, California. *Hydrological processes* 14:763–784.

LOS AHOGAMIENTOS EN RÍOS EN PUERTO RICO: SUS CAUSAS Y FACTORES DE RIESGO

Marianne Cartagena Colón y Jorge R. Ortiz Zayas
Departamento de Ciencias Ambientales,
Universidad de Puerto Rico, Río Piedras.

RESUMEN

En Puerto Rico, visitar los ríos se ha convertido en una actividad muy popular que atrae a miles de puertorriqueños y turistas. Dada la naturaleza de esta actividad y del régimen hidrológico de los ríos en Puerto Rico, existen riesgos naturales que ponen en peligro la vida y propiedad de las personas. Los informes anuales del Instituto de Ciencias Forenses sobre muertes por ahogamiento (asfixia por sumersión) entre el 1999 y el 2005 en Puerto Rico, fueron analizados estadísticamente. Según los mismos, ocurrieron 270 muertes por asfixia por sumersión. El grupo de edad con mayor mortalidad por asfixia por sumersión es el de 50 años ó más para ambos sexos, representando el 50.4 por ciento del total de las defunciones. Del total de la muestra analizada, el 7.5 por ciento estuvieron asociadas al consumo de alcohol. Al momento de planificar actividades recreativas y turísticas en un río se deben tomar en cuenta las condiciones físicas en las que el río y sus alrededores se encuentren para minimizar el riesgo de ahogamientos. También es muy importante considerar las condiciones atmosféricas y cuán rápido puede reaccionar un río a crecidas por el aumento en precipitación en la parte alta de la cuenca hidrográfica. **Palabras clave:** ríos, recreación, muertes por asfixia por sumersión (ahogamiento).

SUMMARY

In Puerto Rico, visiting rivers has become a very popular activity that attracts thousands of Puerto Ricans and tourists. Given the nature of this activity and the hydrological regime of rivers in Puerto Rico, there are natural risks that endanger the life and property of people. Patterns of drowning deaths and practices that help prevent deaths during recreational activities in the Island's rivers are presented. Reports from the Institute of Forensic Science about drowning asphyxia between 1999 and 2005 were analyzed statistically. In Puerto Rico, 270 deaths occurred due to submersion asphyxia (drownings) in the time period between 1999 and 2005. The age group with the highest mortality due to submersion asphyxia is 50 years and more for both sexes, representing 50.4 percent of the total deaths. When planning recreational and tourist activities to a river, account must be taken of the atmospheric conditions and physical conditions in which the river and its surroundings are present at the time to minimize the risk of death by submersion asphyxia.

Keywords: Rivers, recreation, death by drowning.

INTRODUCCIÓN

La recreación es un componente social importante que provee bienestar y beneficios a la salud física y mental del ser humano, fortalece la identidad propia, y promueve el desarrollo de destrezas y aprendizaje, espiritualidad y la cohesión social y comunitaria (Cox et al. 2004). Históricamente, el agua ha sido el medio natural de recreación preferido por el ser humano. El agua ofrece una multiplicidad de opciones de recreación mediante contacto directo, como la natación o el buceo y mediante contacto indirecto como la pesca recreativa o la contemplación. Además, el agua ofrece una sensación placentera de bienestar general único. Particularmente en países tropicales, como Puerto Rico, los ríos ofrecen una alternativa agradable y accesible para el control de la temperatura corporal. Esto puede explicar la constante preferencia de los puertorriqueños y turistas por visitar las playas, los lagos y los ríos en busca de recreo y esparcimiento. Además, los ríos, en su estado natural, poseen un alto valor escénico que propicia el bienestar del ser humano.

A lo largo de la historia de la humanidad, el agua proveniente de los ríos se ha utilizado para consumo humano, riego agrícola, producción de energía, transporte, usos industriales y el ocio (Cairns et al. 1992). Estos beneficios se han reconocido como servicios del ecosistema (Millenium Ecosystem Assessment 2005). La demanda de agua para usos recreativos, estéticos y ambientales se determina a base de los flujos y niveles que se deben preservar en corrientes superficiales y embalses de agua para viabilizar dichos usos (Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico 2007). Sin embargo, aunque existe una métrica que determina científicamente la cantidad que se debe dejar en el río luego de extraer agua para consumo doméstico la estimación es un proceso complejo. Es conocido que el flujo ambiental es mucho mayor al flujo mínimo y

su derivación o estimación no es un proceso simple (Quiñones 2008).

Generalmente, los ríos en Puerto Rico están rodeados de zonas boscosas que complementan la belleza del paisaje. El uso recreativo de estos ríos es uno de los servicios que ofrecen los ecosistemas de los bosques más valorados por la población debido a la reducción de áreas urbanas en las partes altas de las cuencas hidrográficas. Las valoraciones de los atributos naturales y construidos por tipo de actividad en las zonas recreativas del río pueden ser de utilidad para las entidades gubernamentales a cargo de la planificación y el mantenimiento de instalaciones recreativas (Santiago y Loomis 2009).

Durante muchos años, en Puerto Rico, los ríos se han convertido en una actividad muy popular que atrae a miles de puertorriqueños y turistas. Sin embargo, como toda actividad al aire libre, la recreación en los ríos posee riesgos que ponen en peligro la vida y la propiedad humana. Estos riesgos están asociados a las actividades que se desarrollan tanto en las riberas como dentro del cauce donde en respuesta a eventos de lluvia, el caudal puede aumentar súbitamente provocando crecientes repentinas. Otros riesgos incluyen el acceso por veredas a los ríos y quebradas. El caminar en veredas o sobre rocas es una actividad de alto riesgo debido a la irregularidad del terreno que dificulta el caminar y aumenta la posibilidad de accidentes. La recreación dentro del agua también es una actividad de alto riesgo por la posibilidad de accidentes y de ahogamiento, particularmente en áreas con pobre acceso, cauces profundos y sin personal de rescate capacitado para socorrer personas en condiciones de peligro. El riesgo de accidentes y de ahogamiento es aún mayor en la temporada de lluvia debido a que los ríos en Puerto Rico experimentan aumentos súbitos de caudal que pueden sorprender a personas en pleno disfrute del río. Sin embargo,

recientemente los patrones de lluvia, en meses de poca precipitación pluvial, están siendo alterados y se han experimentado eventos de lluvia fuerte. Por ejemplo, el durante el periodo de Semana Santa (10-16 de abril de 2017), debido a una vaguada interactuando con un frente frío provocó fuertes lluvias y súbito aumento del caudal de flujo del Río Guajataca arrastrando a dos jóvenes que posteriormente fueron encontrados ahogados (<http://elvocero.com>; 11 de abril de 2017).

Es importante la comprensión e integración de los múltiples factores que influyen al momento de llevar a cabo una actividad recreativa y turística en los ríos de Puerto Rico, para que esta experiencia sea gratificante y segura minimizando la cifra de accidentados. El ahogamiento no intencional en Estados Unidos es la segunda causa principal de muerte para niños de 1 a 14 años y la quinta causa principal para personas de todas las edades (Center for Disease Control and Prevention; CDC 2012). Desde un punto de vista científico-ambiental debemos poner en perspectiva qué factores son los que influyen para que una muerte por asfixia por sumersión ocurra cuando se lleva a cabo

una actividad recreativa y turística en un río. El uso ambiental de un recurso busca mantener un balance entre conservación y el disfrute del recurso por el visitante (Inskeep 1991). Para lograrlo es necesario, conocer los cambios que sufre el recurso, y que causa la necesidad de buscar nuevas y diferentes facilidades para la recreación (Van Lier y Taylor 1993).

En Puerto Rico existe un modelo espacial de la precipitación desarrollado por el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) utilizando la distribución espacial de las estaciones operadas por el Servicio Nacional de Meteorología (SNM) con récords promedio mensuales. Con este modelo numérico se estimó la precipitación ponderada por cuenca y para toda la Isla, cuyo estimado fue de 69.04 pulgadas anuales (1,750 mm) (DRNA 2004). No obstante, la precipitación es altamente variable ya que puede alcanzar hasta 200 pulgadas (5,080 mm) al año en la parte más alta de la Sierra de Luquillo al noreste y ser menor de 30 pulgadas (762 mm) en el Bosque Seco de Guánica en el suroeste. De acuerdo con los datos del SNM (NWS, en inglés), en la Figura 1 se aprecia que la precipitación anual

FIGURA 1. Distribución espacial de estaciones meteorológicas operadas por el Servicio Nacional de Meteorología en Puerto Rico, 1990 - 2004. Fuente: DRNA, 2004.

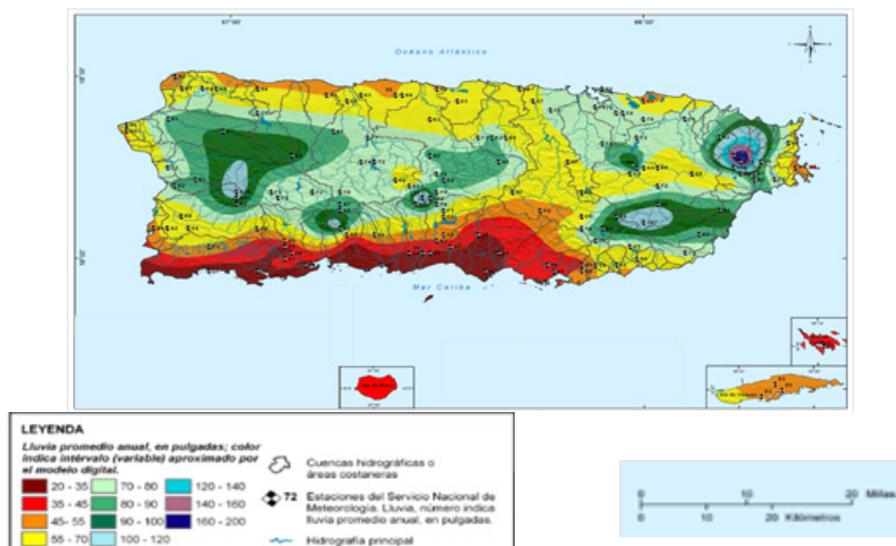


TABLA 1. Características hidrográficas de los ríos principales de Puerto Rico.

Nombre del Río	*Área de Captación de la Cuenca, (km ²)	*Largo (km)	Pendiente Promedio, (%)	Caudal Promedio Anual, (m ³ /s)	*Precipitación Promedio Anual, (mm.)
Ríos Principales de la Cordillera Central					
Río Camuy	159.98	53.6	25.6 ± 26	3900 ± 39	1,956
Río Grande de Arecibo	672.4	317.5	20.2 ± 30	13600 ± 13	1,923
Río Grande de Manatí	608.17	241.2	30.0 ± 30	10700 ± 10	1,902
Río Cibuco	237.17	127.5	27.4 ± 25	3400 ± 34	1,748
Río Grande de Añasco	468.33	311.7	30.2 ± 22	12100 ± 12	2,182
Ríos Principales de la Sierra de Luquillo					
Río Espíritu Santo	67.79	38	28.9 ± 18	4700 ± 47	2,418
Río Sabana	18.68	20.9	30.6 ± 31	1400 ± 14	2,997
Río Fajardo	67.81	26.3	27.5 ± 28	2900 ± 29	2,459
Río Mameyes	40.35	18.7	34.0 ± 22	3600 ± 36	3,180
Río Blanco	67.81	32.5	29.8 ± 23	3200 ± 32	2,515
Ríos Principales de la Sierra de Cayey					
Río de la Plata	624.72	247.6	29.9 ± 23	8200 ± 82	1,684
Río Grande de Loíza	750.97	278	21.5 ± 20	9200 ± 92	1,958
Río Grande de Patillas	75.25	25.4	39.8 ± 25	2400 ± 24	2,060

Fuentes: *Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico, 2005; Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico, Inventario de Recursos de Agua de Puerto Rico, 2004.

FIGURA 3. Caudales diarios promedio en el Río Grande de Manatí cerca de Manatí. (Datos del USGS para la estación 50038100), 1970 - 2002.

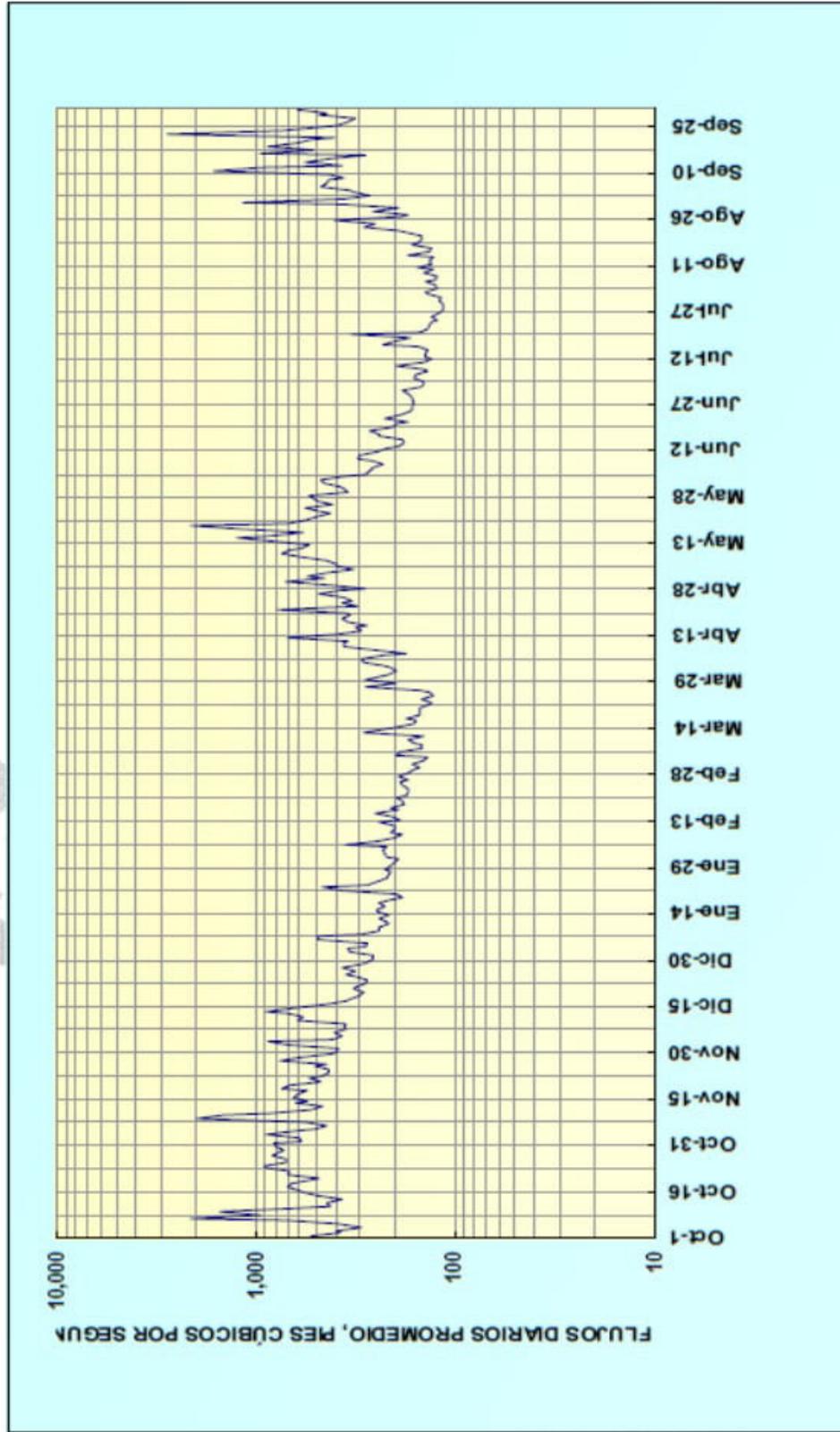


TABLA 2. Inundaciones históricas y daños provocados en Puerto Rico, años 1899 – 1996.

Fecha	Área Afectada de Puerto Rico	Intervalo de Recurrencia (Años)
Agosto 8, 1899	Isla	Desconocido
Septiembre 13, 1928	Isla	100
Septiembre 26, 1932	Isla	Desconocido
Septiembre 6, 1960	Este	25 – 80
Agosto 27, 1961	Noreste	2 – 25
Diciembre 9 – 11, 1965	Interior y costa norte	2 – 25
Noviembre 9, 1969	Este	2 – 10
Octubre 5 – 10, 1970	Este (2/3 del país)	2 – 50
Septiembre 16, 1975	Suroeste	25 – 100
Octubre 7, 1977	Este	2 – 10
Octubre 26 -27, 1978	Sudeste y este	2 – 25
Agosto 29 – 31, 1979	Este, sur y norte	2 – 25
Septiembre 4, 1979	Norte y este	2 – 10
Septiembre 12 – 13, 1982	Sur	2 – 25
Noviembre 3 – 5, 1984	Este	2 – 10
Mayo 17 – 18, 1985	Norte y norte central	20 – 100
Octubre 6 – 7, 1985	Sur	>100
Enero 5 – 6, 1992	Norte y este	10 – 100
Septiembre 9 – 10, 1996	Este	Desconocido
Septiembre 21 - 22, 1998	Isla	Desconocido (Huracán Georges)
Mayo 6 - 7, 2001	Isla	50 - 100
Noviembre 7 - 9, 2001	Norte, centro y este	50
Abril 17 - 18, 2003	Isla	Desconocido
Noviembre 12 - 14, 2003	Isla	25 - 50
Noviembre 11 - 15, 2004	Norte, centro y este	< 5 - 10
Octubre 9 - 13, 2005	Isla	Desconocido
Septiembre 20 - 23, 2008	Este y sur	500
Diciembre 24 – 25, 2009	Este, centro y sur	Desconocido
Julio 20 - 23, 2010	Isla	Desconocido
Julio 18, 2013	Este y centro	50

Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) para Puerto Rico, 1899 - 1996. Servicio Nacional de Meteorología para Puerto Rico, 1998 – 2013.

caudal los ríos suelen salirse de su cauce e inundar los valles ocasionando pérdidas de vida y propiedad.

Puerto Rico posee un gran número de represas, solo algunas de estas están diseñadas para control de inundaciones (Ortiz Zayas et al. 2004). De las 36 represas existentes en Puerto Rico, solo 2 fueron diseñadas para control de inundaciones. Estas son: la Represa Cerillos y la Represa Portugués ambas ubicadas en el municipio de Ponce. La mayoría de las represas activas se operan para usos múltiples tales como abasto público, producción hidroeléctrica, transportación, riego, recreación y control de inundaciones. La mayoría de las represas suelen reducir el impacto de los golpes de agua solo hasta cierta magnitud, sobre el cual no existe control sobre el caudal de agua que sale de la represa. En esas ocasiones, el río provoca inundaciones aguas abajo, algunas con efectos catastróficos. Lamentablemente, muy pocas represas, como Carraízo, están equipadas con sistemas de alarmas que se activan al abrir sus compuertas, esto para avisar de un inminente golpe de agua a las personas que puedan estar aguas abajo cerca del río.

Ante la multiplicidad de factores que pueden influir en la ocurrencia de un ahogamiento durante actividades recreativas en los ríos de Puerto Rico, se desarrolló este estudio con los siguientes objetivos: (1) conocer y describir las variaciones espaciales y temporales en caudales de los principales ríos del país; (2) asociar la influencia de las variaciones hidrológicas estacionales y anuales en caudales con el mes de ocurrencia de las defunciones por ahogamientos; y (3) describir y analizar estadísticamente las diferencias demográficas de las defunciones como factor a mayor riesgo a muerte por ahogamiento en ríos.

METODOLOGÍA

Fuente de Datos, Población y Lugar de Estudio

La población bajo estudio son los casos de defunción humana causadas por ahogamientos (asfixia por sumersión) en los ríos de Puerto Rico. La fuente de datos son las muertes registradas por la División de Patología del Instituto de Ciencias Forenses de Puerto Rico (ICFPR) ocurridas entre el 1999 y el 2005. El ICFPR comenzó a documentar estas muertes sistemáticamente a partir del año 1999. Para algunos años, los datos disponibles incluyen detalles circunstanciales de este evento vital, por ejemplo, si estuvo asociada a golpes de agua, resbalamientos o condiciones patológicas del fallecido.

Este estudio descriptivo permitió conocer cuáles son las situaciones más comunes que provocan estas muertes. Como parte del estudio se determinaron los municipios con mayor número de muertes por ahogamientos, los meses en el año con mayor número de muertes y el grupo de edad de la población con mayor riesgo a morir por esta causa. Para responder el objetivo del estudio, la prueba estadística Kruskal Wallis fue escogida para evaluar diferencias en el riesgo de mortalidad por asfixia por sumersión por grupo de edad. Asimismo, se describen las condiciones del tiempo para cada año estudiado asociado a las muertes por asfixia por sumersión.

Se realizaron análisis estadísticos descriptivos de los datos de lluvia entre 1999 y el 2005 para determinar los períodos de las fuertes lluvias, inundaciones o golpes de agua en ocho municipios. Estos municipios están ubicados en las zonas costaneras en los cuatro puntos cardinales de Puerto Rico. Los ríos en estos municipios han registrado el mayor número de defunciones, estos son: Aguada,

Arecibo, Cabo Rojo, Carolina, Fajardo, Patillas, Rio Grande y San Juan.

Limitaciones de la Fuente de Datos

Existe un margen de error en los datos del ICFPR debido a la falta de exactitud y precisión en la localización específica de los eventos de ahogamientos. El ICFPR solo registra el municipio de ocurrencia de la muerte y la palabra “río” solo en algunas defunciones, pero no precisa las coordenadas de la zona del río. Los registros en el que ICFPR solo registra el municipio de ocurrencia de la muerte, pero no especifica si la muerte ocurrió en un cuerpo de agua salada o de agua dulce no fueron consideradas en la muestra. Esto debido a que sin esta información se dificulta la distinción entre defunciones ocurridas en ríos y en playas

en municipios costeros. Además, los registros de defunción que especificaba que la muerte fue ocurrida en playa, piscina, lago o laguna no están incluidas en el estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En Puerto Rico el número total de ahogamientos entre los años 1999 al 2005 fue 53 (Tabla 3). Estas 53 muertes causadas por asfixia por sumersión no se dieron en igual proporción en cada uno de los años estudiados. De hecho, los años 2004 (18), 2005 (14), y 1999 (12) fueron los años con el mayor número de defunciones. De 78 municipios que comprenden Puerto Rico, en 10 municipios se reportaron el 60.4 por ciento de las muertes (Tabla 3). Los cuatro (4) municipios con mayor número de muertes representan el 34 por ciento

TABLA 3. Primeros diez municipios con mayor número de muertes causadas por asfixia por sumersión: Puerto Rico, años 1999 al 2005. División de Patología del Instituto de Ciencias Forenses de Puerto Rico.

Municipio	Número de Muertes	Por Ciento
Ciales	6	11.3
Rio Grande	6	11.3
Lares	3	5.7
Toa Alta	3	5.7
Adjuntas	2	3.8
Caguas	2	3.8
Ceiba	2	3.8
Comerio	2	3.8
Naguabo	2	3.8
Orocovis	2	3.8
Ponce	2	3.8
Otros municipios	21	39.6
Total	53	100

del total de muertes por ahogamiento ocurridas (Tabla 3). Asimismo, de los 4 municipios con mayores muertes por asfixia por sumersión, Ciales y Rio Grande son los municipios con el mayor número de defunciones durante el periodo de tiempo establecido con 6 muertes, respectivamente (Tabla 3). Los datos obtenidos no indicaban el lugar de residencia del individuo al momento de ocurrir la defunción lo que limita el cálculo de la tasa de mortalidad estandarizada. En tanto, se reconoce la importancia de conocer cuántas de las muertes son turistas locales o extranjeros. Otra fuente de datos estadísticos alternativa para esta causa de muerte es la provista por el Departamento de Salud de Puerto Rico la cual facilita el lugar de residencia y ocurrencia de la muerte. Sin embargo, en un reporte de periódico el Sr. Nino Correa, coordinador del Programa de Búsqueda y Rescate de la Agencia Estatal para el Manejo de Emergencias, 30 a 35 personas mueren ahogadas anualmente en los cuerpos de agua de Puerto Rico, que lamentablemente no se tienen estadísticas certeras para saber si esa cifra ha aumentado o disminuido pero que el pico de estas fatalidades

ocurre en fines de semanas largos, y en los meses de junio y julio (El Nuevo Día 2014).

En el periodo bajo estudio, los años de mayor precipitación en Puerto Rico en orden ascendente fueron el 2004, 2003 y 2005 (Tabla 4). El año con mayor número de muertes (18) fue el 2004; este año coincide con el tercer año más lluvioso entre el 1999 y el 2005. El año 2002, fue el año más seco de los estudiados y no hubo muertes por ahogamiento en los ríos. La suma de muertes por ahogamiento en estos tres años lluviosos totalizó 44, u 83.0 por ciento de las muertes entre 1999 y 2005.

De igual forma los meses con mayor número de muertes por ahogamiento en nuestros ríos son: julio, junio, abril, septiembre y octubre. Precisamente, estos meses tienen periodos de vacaciones y receso escolar y se espera que las actividades recreativas se den con mayor frecuencia. Estos resultados comparan con la tendencia en Missouri, que para el año 1993, durante el verano ocurrieron 21 ahogamientos de las cuales 10 se asociaron con actividades recreativas, 6 ahogamientos ocurrieron en un

TABLA 4. Muertes por asfixia por sumersión ocurridas en los ríos y pulgadas de lluvia promedio anual registradas en Puerto Rico, años 1999 al 2005. División de Patología del Instituto de Ciencias Forenses de Puerto Rico. * Servicio Nacional de Meteorología, San Juan Puerto Rico.

Año	Defunciones		*Total de Lluvia Anual (mm)
	Número	%	
1999	12	22.6	1,747
2000	8	15.1	1,358
2001	1	1.9	1,620
2002	0	-	1,282
2003	0	-	1,971
2004	18	34.0	1,824
2005	14	26.4	2,044
Total	53	100.0	-

incidente cuando una inundación repentina inundó una cueva en la que las víctimas estaban explorando y 4 ahogamientos ocurrieron en incidentes separados asociados con inundaciones fluviales (Centers for Disease Control and Prevention (CDC; 1993). En Puerto Rico los meses de mayor incidencia de muertes por ahogamiento son julio, junio, abril, septiembre y octubre, siendo abril, junio y julio los de mayor número de muertes. Los meses de junio y julio suman 20 muertes lo que resulta en el 37.7 por ciento del total. De 53 muertes en total, 35 muertes registradas en los meses de junio, julio, abril, septiembre y octubre representaron el 66.0 por ciento de muertes por ahogamiento (Tabla 5).

Las condiciones climáticas y meteorológicas ejercen una gran influencia sobre la recreación y en la sensación de disfrute del visitante. Nuestros resultados sugieren que los recreacionistas, al momento de planificar y llevar a cabo sus actividades, parecen no reconocer los riesgos durante condiciones del tiempo adversas. Esto a pesar de estar bombardeados de información ya sea por medios tradicionales de radio, televisión o por las redes sociales.

Aspectos Demográficos

El riesgo de ahogamiento disminuye para ambos sexos desde los 5 a los 14 años, luego

TABLA 5. Meses con mayor número de muertes: Puerto Rico, años de 1999 - 2005. División de Patología del Instituto de Ciencias Forenses de Puerto Rico.

Mes	Número	Por Ciento
Julio	13	24.5
Junio	7	13.2
Abril	5	9.4
Octubre	5	9.4
Septiembre	5	9.4
Diciembre	3	5.7
Enero	3	5.7
Marzo	3	5.7
Noviembre	3	5.7
Agosto	2	3.8
Febrero	2	3.8
Mayo	2	3.8
Total	53	100

aumenta sustancialmente a la edad de 15 años y permanece elevado durante la edad adulta (Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Injury Prevention and Control 2011). No se encontraron diferencias estadísticas en las defunciones por edad ($H = 8.52$, $gl = 9$, $p = .48$). Por criterios convencionales, esta diferencia no se considera estadísticamente significativa. Se decide por los resultados de la prueba no rechazar la Hipótesis nula (H_0) porque no existe diferencia significativa en el patrón de muertes por ahogamiento en la variable edad para Puerto Rico durante los años de estudio 1999 al 2005. En otras palabras, no existe una relación entre los ahogamientos en Puerto Rico y la edad de los afectados.

Los grupos de edad con mayor número de muertes en la totalidad de los años bajo estudio en orden descendente son 50+ años, 35 – 39 años y 15 – 19 años. En estos grupos de edad, 30 muertes fueron registradas, representando

el 56.6 por ciento de muertes por esta causa (Tabla 6). Este perfil demográfico coincide con las estadísticas de otros países como España, Australia y Estados Unidos donde ambos subgrupos de la población de mayor edad y más jóvenes también se enfrentan a un mayor riesgo de mortalidad (Centers for Disease Control and Prevention 2004; Doocy et al. 2013).

En cuanto al sexo la mayoría de las muertes se dio en el sexo masculino con 43 (81.1 %) y apenas 10 muertes pertenecen al sexo femenino (Tabla 6). Esto compara con la tendencia en Estados Unidos donde casi el 80% de las personas que mueren por ahogamiento en aguas naturales recreacionales o piscinas son del sexo masculino (CDC, National Center for Injury Prevention and Control 2016). Asimismo, el mayor número de muertes ocurridas en el sexo femenino fueron para los quinquenios de edad 50 +, 15 – 19 y 20 – 24 años de edad con 4, 2 y 2 muertes, respectivamente. Sin embargo, en el sexo masculino el mayor número de muertes

TABLA 6. Muertes por asfixia por sumersión, por edad y sexo: Puerto Rico, años de 1999 - 2005. División de Patología del Instituto de Ciencias Forenses de Puerto Rico.

Edad	Sexo				Total
	Femenino		Masculino		
	Núm.	%	Núm.	%	
0 – 4	0	-	0	-	0
5 – 9	0	-	1	100	1
10 – 14	1	25.0	3	75	4
15 – 19	2	20.0	8	80	10
20 – 24	2	50.0	2	50	4
25 – 29	0	0.0	4	100	4
30 – 34	0	0.0	4	100	4
35 – 39	1	11.1	8	89	9
40 – 44	0	-	2	100	2
45 – 49	0	-	4	100	4
50 +	4	36.4	7	64	11
No especifica	0	-	0	-	0
Total	10	18.9	43	81.1	53

fue de 15 – 19, 35 – 39 y 50+ años de edad con 8, 8 y 7 muertes, respectivamente. Aunque para el sexo masculino los grupos de edad 15 – 19 (8 muertes) y 35 – 39 (8 muertes) tuvieron mayores muertes. Cabe señalar que la diferencia en el número de ahogamientos entre estos dos grupos de edad y grupo de edad de 50 + es 1 defunción menos. Por su parte el grupo de edad 50 + en el sexo femenino registró el mayor número de muertes. Sin embargo, al sumar las muertes de ambos sexos, la edad con mayor número de muertes es el grupo de 50+ años de edad. Este hallazgo compara con lo observado en Estados Unidos para los años 2001 al 2002, en el cual el mayor número de ahogamientos en aguas naturales asociadas a actividades recreativas se registraron en la población mayor de 15 años y siendo la población masculina la de mayor riesgo a morir por esta causa (CDC 2004).

En países desarrollados, el sexo masculino también se asocia con mayor riesgo de mortalidad por ahogamiento (Centers for Disease Control and Prevention 2004; Doocy et al. 2013; Organización Mundial de la Salud 2016). Los estudios indican que ello se debe a una mayor exposición al agua y a prácticas más arriesgadas, como los baños en solitario, a veces tras consumir alcohol, o la navegación (Organización Mundial de la Salud, 2016). En Puerto Rico los ahogamientos ocurridos en los años 1999 al 2005 el ICFPR no facilitó la causa asociada a la muerte para todos los registros. En consecuencia, solamente en 14 muertes se facilitó la casusa asociada. De estas 14 muertes las causas asociadas fueron consumo de alcohol (7.5 por ciento), Trauma corporal (7.5 por ciento), consumo de drogas (5.7 por ciento) Trauma cervical (3.9 por ciento), y Trauma craneal (1.8 por ciento) en los años de 1999 al 2005. Mientras que el 73.6 por ciento de las muertes (39 defunciones) se desconoce la causa asociada. En detalle, de los 14 ahogamientos 3 del sexo masculino y 1 ahogamiento del sexo femenino tuvieron como causa asociada el consumo de alcohol. La segunda causa

asociada con mayor número de defunciones para el sexo masculino fue consumo de drogas con 3 muertes; para esta causa asociada no hubo muerte en el sexo femenino. Mientras que para el sexo femenino la segunda causa asociada con mayor número de defunciones fue Trauma corporal con 2 muertes; para esta causa asociada hubo 2 muertes en el sexo masculino. Reconociendo la limitación de la base de datos, puede apreciarse que el hombre puede estar más expuesto a prácticas de riesgo como consumo de alcohol y drogas que la mujer en actividades recreativas en los ríos.

CONCLUSIÓN

En general en Puerto Rico y entre los años 1999 y 2005, las muertes por ahogamiento ocurren en personas con 15 años o más. Evidentemente, el grupo de edad que representa un mayor número de muertes por ahogamiento es de 50 años o más para ambos sexos. En cuanto al sexo la mayoría de las muertes se dio en el sexo masculino. La falta de atención a las condiciones del tiempo en particular, a la temporada de lluvias hace que los usuarios de nuestros ríos sean más vulnerables a accidentes potencialmente fatales.

La problemática de muertes por ahogamiento generada por la demanda recreativa en los espacios cerca de los ríos amerita atención continua. Los individuos y las comunidades obtienen innumerables beneficios no materiales de los ríos tales como purificación de aire y paisajes que proporcionan sitios y oportunidades para el turismo, la recreación, el disfrute estético, la inspiración y la educación (Corvalán, et al. 2005). Las muertes por ahogamiento son una amenaza de salud pública grave y desatendida que cada año provoca 372,000 defunciones en todo el mundo (Organización Mundial de la Salud 2016).

Entre las alternativas disponibles para el disfrute máximo de los beneficios de la

recreación se recomienda el monitoreo, manejo y divulgación de información científica de los ríos a las comunidades. La rápida diseminación de información sobre las condiciones físicas en las que se encuentren los ríos puede potenciar el desarrollo de actividades recreativas y turísticas seguras reduciendo el riesgo de pérdida de vida humana. Instalar sistemas de alerta en caso de inundaciones, letreros y campañas educativas y de prevención dirigidos a los grupos de alto riesgo de ahogamiento son alternativas que aportan a oportunidades de turismo y recreación más seguras. Una mayor vigilancia de las inundaciones, medidas de mitigación mejoradas y una comunicación eficaz con las autoridades civiles y las poblaciones vulnerables tiene el potencial de reducir la pérdida de vidas en futuras inundaciones (Doocy et al. 2013).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto de Ciencias Forenses de Puerto Rico por facilitar la base de datos en este estudio. También, queremos agradecer la colaboración del Sr. Sigfredo Torres hidrólogo del Servicio Geológico de Estados Unidos para Puerto Rico por su colaboración y tiempo de corrección del manuscrito. Nuestro agradecimiento al Sr. Elvis Torres Delgado por su valioso consejo en el desarrollo del escrito y al Dr. Neftalí Ríos por la asesoría en el manejo de datos y análisis estadístico.

REFERENCIAS

- Center for Disease Control and Prevention (CDC). 2012. CDC 24/7 Saving lives, protecting people. Center for Disease Control and Prevention (CDC). <https://www.cdc.gov/Features/dsDrowningRisks/>
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). 2004. Nonfatal and fatal drownings in recreational water settings — United States, 2001–2002. *Morbidity and Mortality Weekly Report* 53:447–452.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). 1993. Flood related mortality Missouri, 1993. *Morbidity and Mortality Weekly Report* 42:941–943.
- Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Injury Prevention and Control (CDC). 2016. Wide-ranging online data for epidemiologic research (WONDER). National Center for Health Statistics. <http://wonder.cdc.gov>
- Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Injury Prevention and Control (CDC). 2011. Leading causes of death reports, national and regional. *Injury prevention and control: Data and statistics (WISQARS)*. <http://www.cdc.gov/injury/wisqars>
- Corvalán, C., S. Hales y A. McMichael. 2005. *Ecosistemas y bienestar humano: Síntesis sobre salud*. Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza.
- Cox, M., R. Johnstone, y J. Robinson. 2004. Effects of coastal recreation on social aspects of human well-being. rep., *Proceedings of the coastal zone Asia Pacific conference 2004: Improving the quality of life in coastal areas*, Brisbane, Australia.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA). *Inventario de agua de Puerto Rico 2004*. Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), División de Monitoreo de Plan de Agua, San Juan, Puerto Rico.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico. 2007. *Declaración de Impacto Ambiental Estratégica Actualizada, Plan Integral de Recursos de Agua de Puerto Rico*. San Juan: Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA).
- División de Monitoreo del Plan de Aguas del DRNA y G. L. Morris. 2009. *Guía para el manejo de ríos en Puerto Rico*. San Juan: Departamento de Recursos Naturales y Ambientales.

- Doocy, S., A. Daniels, S. Murray y T.D. Kirsch. 2013. The human impact of floods: a historical review of events 1980 - 2009 and systematic literature review. *PLoS Currents* 5.
- El Nuevo Día. 2014. Entre 30 a 35 personas mueren anualmente ahogadas: Las fatalidades se atribuyen mayormente a sobre confiarse y no informarse. *El Nuevo Día*, 10 de abril de 2014.
- Gobster, P.H. y L.M. Westphal. 2004. The human dimensions of urban greenways: planning for recreation and related experiences. *Landscape and Urban Planning* 68:147 – 165.
- Gómez Martín, B. 1999. La relación clima-turismo: consideraciones básicas en los fundamentos teóricos y prácticos. *Investigaciones Geográficas* 21:21 – 34.
- González Cabán, A.L. y J. Loomis. 1999. Medida de los beneficios económicos de la integridad ecológica del río Mameyes en Puerto Rico. Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture.
- Gunn, C.V. 2002. *Tourism planning: Basics, concepts, cases by Var, Turgut, Gunn, Clare*. Routledge, New York, USA.
- Inskip, E. 1991. *Tourism planning: an integrated and sustainable development approach*. Van Nostrand Reinhold: John Wiley and Sons, Inc., New York, USA
- Martínez Omaña, M. 2005. Percepción de los usos, prácticas y representaciones en torno al agua. El caso de Valle de Bravo, México. XII Congreso de Historia Económica, Buenos Aires.
- Organización Mundial de la Salud. 2016. Informe mundial sobre ahogamientos: prevenir una importante causa de mortalidad. Organización Mundial de la Salud, Ginebra.
- Quiñones, F. 2008. Métodos para la determinación de flujos mínimos y flujos ambientales en los ríos y quebradas en Puerto Rico. Recursos de Agua de Puerto Rico. Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), Brentwood.
- Ramos Ginés, O. 1999. Estimation of magnitude and frequency of floods for streams in Puerto Rico: New Empirical Models. U.S. Department of Interior, U.S. Geological Survey, Commonwealth of Puerto Rico, San Juan, Puerto Rico.
- Santiago, L.E. y J. Loomis. 2009. Recreation benefits of natural area characteristics at the El Yunque National Forest. *Journal of Environmental Planning and Management* 52:535–547.
- Sariego López, I., A. H. Ariño Plano, J.A. Muro Calero y J.J. Pons Izquierdo. 2004. El sistema fluvial de los ríos Iratí, Urrobi y Erro. Fundamentos para el aprovechamiento turístico sostenible de los recursos hídricos en la Red Natura 2000 de Navarra. VII Congreso Nacional del Medio Ambiente, Cumbre del Desarrollo Sostenible. Edit. CONAMA, Madrid.
- Smith, R.L. y T. Smith. 2001. *Ecología*. Addison Wesley Longman, Inc., Madrid.
- Sokal, R.R. y F.J. Rohlf. 1995. *Biometry: The principle and practice of statistics in biological research*. Cuarta edición. W.H. Freeman and Company, New York, USA.
- Van Lier, H. y P. Taylor. 1993. *New challenges in recreations and tourism planning*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, New Jersey, USA.

PUBLIC PERCEPTION TOWARDS STRAY CATS IN OLD SAN JUAN, PUERTO RICO

Jessica Castro Prieto^{1} and María José Andrade Núñez¹*

¹IGERT, Department of Environmental Science,
University of Puerto Rico, Rio Piedras

ABSTRACT

A large population of stray cats in densely human-populated urban areas like Old San Juan, Puerto Rico, may represent a potential threat for human health and safety, a source of diseases for indoor pets, and an important predator for local wildlife. We conducted 112 face-to-face interviews to assess public perception toward stray cats in Old San Juan. For 58 percent of the participants, stray cats represent a risk, principally for human health, while 42 percent of the participants did not perceive any risk. However, most of the participants (88 percent) agreed about the need of improving stray cat management in this city. We found none of the socio-demographic variables (e.g., literacy, income) to be significantly correlated with perception of stray cats. Furthermore, we found a strong overlap between participants perception of cat distributions with cat's actual distribution. We concluded that public perception data are important for managing stray cats in urban areas such as in our case study.

Keywords: Old San Juan, perception, Puerto Rico, stray cats, urban area.

RESUMEN

Una gran población de gatos callejeros en áreas urbanas densamente pobladas como el Viejo San Juan, Puerto Rico, puede representar una amenaza potencial para la salud y seguridad de las personas, una fuente de enfermedades para mascotas y un importante depredador para la fauna local. Realizamos 112 entrevistas cara a cara para evaluar la percepción pública hacia gatos callejeros en el Viejo San Juan. Para el 58 por ciento de los participantes, los gatos callejeros representan un riesgo, principalmente para la salud humana, mientras que el 42 por ciento de los participantes no percibieron ningún riesgo. Sin embargo, la mayoría de los participantes (88 por ciento) estuvieron de acuerdo en la necesidad de mejorar el manejo de gatos callejeros en esta ciudad. No encontramos correlación significativa entre ninguna de las variables sociodemográficas (p. ej. alfabetización, ingresos) con la percepción de los gatos callejeros. Además, encontramos una fuerte superposición entre los participantes con respecto a la percepción de la distribución de gatos con la distribución real de los mismos. Concluimos que los datos de percepción pública son importantes para el manejo de gatos callejeros en áreas urbanas como en nuestro estudio de caso.

Palabras clave: Viejo San Juan, percepción, Puerto Rico, gatos callejeros, áreas urbanas.

INTRODUCTION

The domestic cat (*Felis catus*) is one of the most ancient domesticated species and popular pet worldwide (Driscoll et al. 2009), but also a very abundant and widely distributed species with a global population estimated as 400 million (Lowe et al. 2000, Schmidt et al. 2007). A major problem associated with domestic cats is the large number of unowned or stray cats with a semi-wild behavior as they are fed by humans, but they roam free, live outdoors, and hunt and breed as wild cats.

Stray cats like stray pets in general, are unhealthy and more susceptible to get infected by parasites, viruses and bacteria that can be potentially transmitted to humans, indoor pets, or wildlife (Conrad et al. 2005, Gerhold and Jessup 2013, Schmidt et al. 2007), VanWormer et al. 2013). Furthermore, stray cats are important predators on wildlife (Dauphiné and Cooper 2009, Rodríguez Durán et al. 2010, Winter and Wallace 2006). For example, in the United States domestic cats are among the most important causes of mortality for birds and small mammals (Loss et al. 2013).

In many urban areas of the world stray cat colonies are an issue of public dispute. The unhealthy living conditions and nuisance associated with stray animals (e.g., odors, feces), the strong empathy for cats, and laws advocating for animal rights, complicate managing this species in the same way as humans control other problematic species (Farnworth et al. 2011). Hence, the most used method to control stray cats in urban areas is Trap, Neuter, and Release (TNR), which consist on trapping the animals, neutering, and releasing them (Kortis 2013). Although this is the most socially accepted control method (Berkeley 2004), and it has been effective in reducing cat populations in small colonies (Centonze and Levy 2002), the method is ineffective when discontinued, when populations are open (migrations and

emigration exists), or when populations have more than fifty individuals (Castillo and Clarke 2003). Additionally, TNR does not reduce the most important causes of social disputes including: unhealthy living conditions, and nuisance in public areas (Andersen et al. 2004, Barrows 2004, Berkeley 2004, Dauphiné and Cooper 2009, Lepczyk et al. 2010, Longcore et al. 2009, Scott et al. 2002, Wald et al. 2013).

In Old San Juan Puerto Rico, a large population of stray cats has been an issue of public debate for a while. By the year 2000, the United States National Park Service and other federal agencies (U.S. Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service, and Fish and Wildlife Service 2003) proposed a plan to control stray cats inhabiting this historic city. The plan included euthanasia and cat removals to shelters, but these actions were considered cruel and rejected by the local community and animal welfare groups. Since then, a local non-governmental organization called Save a Gato (SaG), was created to advocate for cat welfare, and started implementing TNR as the strategy to reduce and control the population of stray cats in Old San Juan.

While TNR has been implemented for more than a decade, it is unclear how effective it has been in reducing the population of stray cats. Furthermore, there is a lack of knowledge on public concerns on this issue, and how these concerns change with sociodemographic characteristics including among Old San Juan residents and visitors.

In this study, we assessed the social perception towards stray cats in Old San Juan, Puerto Rico, and analyzed whether socio-demographic characteristics affect perception. Furthermore, we assessed how people's knowledge about cat distribution related to actual cat distribution assessed by Castro and Andrade (unpublished). Results from this study

may represent a supporting tool for managing the population of stray cats in Old San Juan, and any other urban areas.

METHODS

Study Area

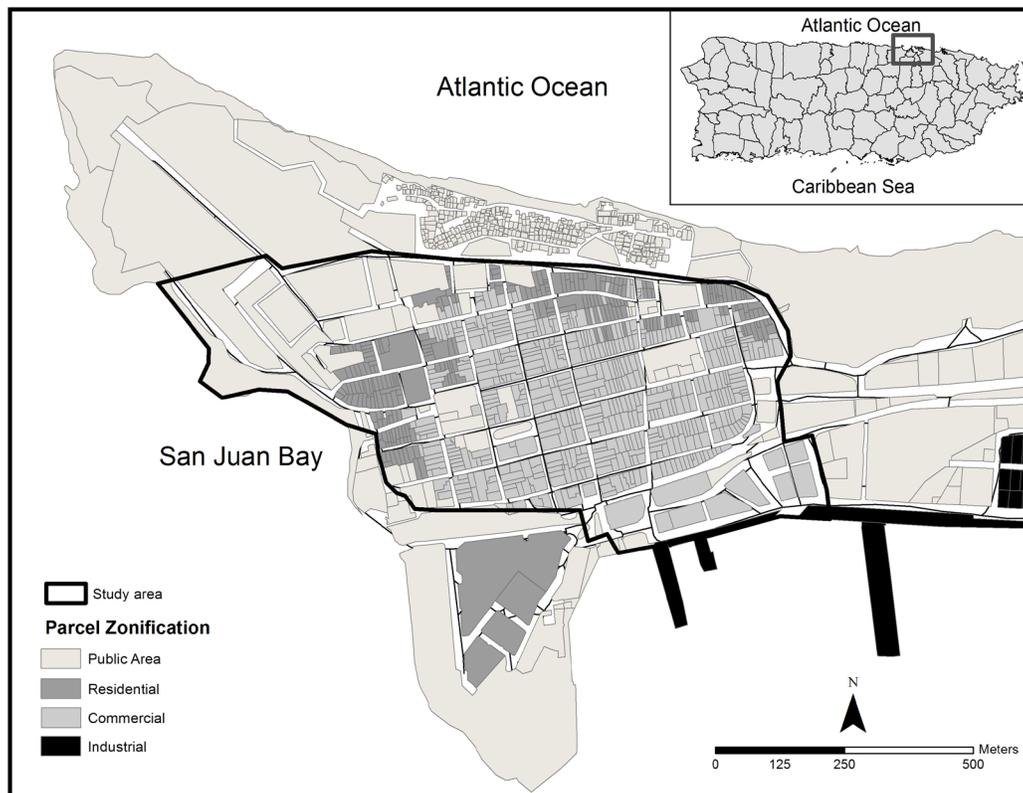
Old San Juan is the historic Spaniard colonial urban area of San Juan, Puerto Rico's capital city located in the northeast coast of the island. The city has a year-round resident population of approximately 100,000 (US Census Bureau 2010), but receives more than a million tourists each year (Puerto Rico Tourism Company 2016). This study was conducted in an area of approximately 49 hectares, limited by Norzagaray Street in the North and East, Paseo de la Princesa and docks in the South, and Paseo del Morro in the West (Fig. 1). The area

comprises 868 parcels with three main uses: commercial centers (62 percent), residential of high population density (31 percent), and public area (7 percent). Due to access limitation and time constrain, we excluded important sites that we know have large colonies of stray cats including: La Perla, La Puntilla, and most of the rocky shore of Paseo del Morro.

Interviews and Questionnaires

To quantify public perception towards stray cats, we conducted 112 face-to-face interviews on May 2012. Forty percent ($n=45$) of the participants were residents and 60 percent ($n=67$) were visitors (Fig. 2). We used a semi-structured questionnaire composed of six questions in which five were closed (options were provided) and one was open (the participant was allowed to provide its

FIGURE 1. Map of Old San Juan depicting the study area and the zoning districts.



opinion) (Appendix 1). For example, one of the closed questions seeks to understand public opinion about the condition of stray cats in Old San Juan. In case the participant answer was positive (i.e., stray cats are an issue), he/she was asked to identify the two most important potential risks associated including: public health, nuisance, environmental, economic and political, and historic preservation. In addition, participants were requested to indicate in the map of the study area those streets where they have observed more cats. For each participant, we collected sociodemographic data including: gender, age, education, income, and place of residence. Additionally, we reported if the participant was not a resident of the Old San Juan and compared responses between residents and non-residents. These interviews were conducted following all instructions required by CIPSHI #1213-153.

We conducted descriptive data analyses and Chi square test with a significance level of .05 (p-value) to evaluate the collinearity among the independent variables. We used geographical information system (GIS) to create a layer with the information about the spatial perception of cat distribution in Old San

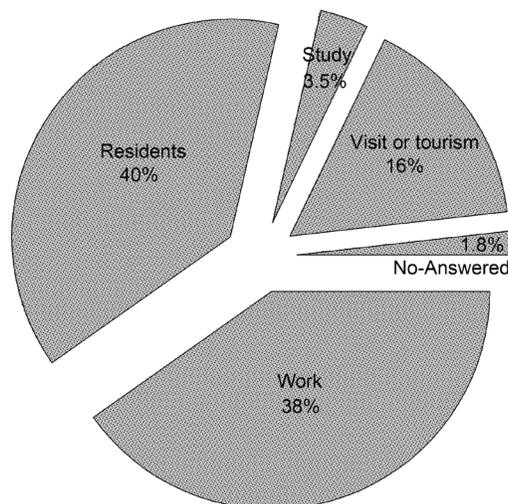
Juan, and compared this layer with the actual cat spatial distribution generated by Castro and Andrade (unpublished). Furthermore, we tested the accuracy of our results by assessing how certain were our participants about the spatial distribution of cats. To accomplish this objective we conducted an overlay analysis using the Overlay Analysis tool in combination with Selection by Location in ArcGIS 9.3.

RESULTS

Public Perception Towards Stray Cats

Fifty eight percent (n=65) of the participants perceived stray cats as a problem, while 42 percent (n=47) did not. Those participants that perceived stray cats as a problem indicated potential risks on: public health (45 percent), the environment (26 percent), and also some of them (21 percent) indicated that stray cats were a source of nuisance. Most of the participants (88 percent) agreed about the need of improving cat management in the city. We found that resident's perception towards stray cats was not significantly different from visitor's perception ($\chi^2 = .01$, $dof = 1$, $p = .92$). None of the sociodemographic variables were

FIGURE 2. Descriptive characteristics of the 112 participants as residents and non-residents (i.e., worker, visitor and student).



significantly correlated with the perception of stray cats as a problem and with management needs (Table 1). Spatial overlay analysis showed that participant's perception of cat distribution overlapped with the real distribution of stray cats (Figure 3, Table 2).

DISCUSSION AND CONCLUSION

Perception analysis conducted in this study allowed understanding people's opinion and

concerns about stray cats in Old San Juan. Surprisingly, perception results did not differ between residents and visitors. The negative perception towards stray cats in Old San Juan was lower in comparison with another urban area in Italy where most of the participants (91 percent) agreed cats were a major problem (Slater et al. 2008). Unlike Ash and Adams (2003), gender and education did not affect perception in our study. A possible explanation for this result was the small size of our sample

TABLE 1. Descriptive sociodemographic data of participants and perception results toward stray cats. Results from Chi-square analysis are presented.

Variables	Stray cats are a problem			p-value (χ^2)	Stray cats need management			p-value (χ^2)
	Yes, N (%)	No, N (%)	Total, N		Yes, N (%)	No, N (%)	Total, N	
Gender				0.3				0.8
Women	40 (63)	24 (37)	64		57 (89)	7 (11)	64	
Men	25 (52)	23 (48)	48		42 (88)	6 (12)	48	
Total	65 (58)	47 (42)	112		99 (88)	13 (12)	112	
Missing								
Ages (years)				0.8				0.3
18-30	20 (65)	11 (35)	31		25 (81)	6 (19)	31	
31-45	19 (59)	13 (41)	32		29 (91)	3 (9)	32	
46-60	17 (53)	15 (47)	32		29 (94)	2 (6)	31	
61 >	9 (56)	7 (47)	16		15 (94)	1 (6)	16	
Total	65 (59)	46 (31)	111		98 (89)	12 (11)	110	
Missing		1	1		1	1	2	
Marital Status				0.8				0.6
Single	31 (54)	26 (46)	57		50 (89)	6 (11)	56	
Married	26 (60)	17 (40)	43		37 (86)	6 (14)	43	
Divorced	6 (60)	4 (40)	10		10 (100)	0 (0)	10	
Widowed	1 (100)	0 (0)	1		1 (100)	0 (0)	1	
Total	64 (58)	47 (42)	111		98 (89)	12 (11)	110	
Missing		1	1		1	1	2	
Educational level				0.6				0.7
Elementary School	1 (100)	0 (0)	1		1 (100)	0 (0)	1	
Middle School	2 (100)	0 (100)	2		2 (100)	0 (0)	2	
High School	9 (64)	5 (36)	14		13 (93)	1 (7)	14	
Undergraduate	32 (56)	25 (44)	57		48 (84)	9 (16)	57	
Graduate (Master, PhD, PostDoc)	20 (54)	17 (46)	37		34 (92)	3 (8)	37	
Total	64 (58)	47 (42)	111		98 (88)	13 (12)	111	
Missing		1	1		1		1	
Income (american dollars)				0.1				0.3
0-9,000	4 (40)	6 (60)	10		7 (70)	3 (30)	10	
10,000 - 29,000	27 (79)	7 (21)	34		32 (94)	2 (6)	34	
30,000- 50,000	17 (65)	9 (35)	26		23 (88)	3 (12)	26	
50,000- 69,000	4 (44)	5 (56)	9		8 (89)	1 (11)	9	
70,000 >	6 (60)	4 (40)	10		9 (90)	1 (10)	10	
Total	58 (65)	31 (35)	89		79 (89)	10 (11)	89	
Missing		7	16			3	23	

(n = 112) which probably did not capture variability, and hence some sociodemographic categories were represented by few individuals. In addition, the categorization of independent variables used here may have masked the identification of significant correlated variables.

Probably, a detailed analysis of independent variables would have showed different results.

Results from this study might contribute to improve cat management in Old San Juan or any other urban area with similar characteristics.

FIGURE 3. Spatial overlay of the perceived sections with larger abundance of stray cats (i.e., frequency at which participants selected a section) with the number of observed cats during a field survey (Castro and Andrade unpublished data). Displayed numbers represent sections (1-6) and frequency values are display within brackets. Zoning parcels and feeding station are also showed.

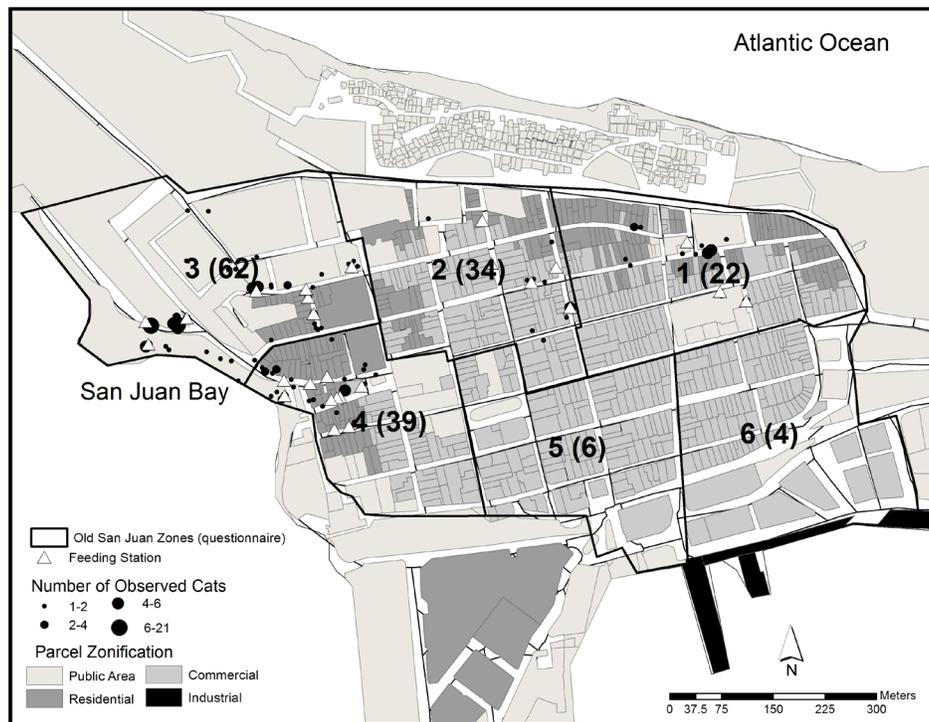


TABLE 2. Social perception of the spatial location of stray cats in Old San Juan compared with the real number of observed cats and feeding stations during a field survey (Castro and Andrade unpublished data).

Zones	Number Times Zone Was Selected	Cats Observed	Feeding Stations Counted
3	62	120	8
4	39	42	10
2	34	18	5
1	22	28	3
5	6	0	0
6	4	0	0

Unlike past management actions proposed to control cat colonies in this city, we generated for the first time information about public perception towards stray cats. Because of the strong bond that exists between humans and one of the most common pets in the world, public perception assessments are vital for managing stray cats in urban areas.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank to Colibrí Sanfiorenzo Barnhard and Johnny Lugo Vega for their help with interviews, and support during the project. To IGERT fellows and professors for suggestions to improve the project during its development, and to the people that accepted to participate in the survey. This project was supported by NSF IGERT Grant # 0801577.

LITERATURE CITED

- Andersen, M.C., B.J. Martin, and G.W. Roemer. 2004. Use of matrix population models to estimate the efficacy of euthanasia versus trap-neuter-return for management of free-roaming cats. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 225:1871-1876.
- Ash, S.J., and C.E. Adams. 2003. Preferences for free-ranging domestic cat (*Felis catus*) management options. *Wildlife Society Bulletin* 31(2):334-339.
- Barrows, P.L. 2004. Professional, ethical, and legal dilemmas of trap-neuter-release. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 225:1365-1369.
- Berkeley, E.P. 2004. TNR past present and future: a history of the trap-neuter-return movement. *Alley Cat Allies*, Washington, D.C.
- Castillo, D., and A. L. Clarke. 2003. Trap/neuter/release methods ineffective in controlling domestic cat "colonies" on public lands. *Natural Areas Journal* 23:247-253.
- Centonze, L., and J. Levy. 2002. Characteristics of free-roaming cats and their caretakers. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 220 (11):1627-1633.
- Conrad, P.A., M.A. Miller, C. Kreuder, E.R. James, J. Mazet, H. Dabritz, D.A. Jessup, F. Gulland, and M.E. Grigg. 2005. Transmission of *Toxoplasma*: clues from the study of sea otters as sentinels of *Toxoplasma gondii* flow into the marine environment. *International Journal for Parasitology* 35:1155-1168.
- Dauphiné, N., and R.J. Cooper. 2009. Impacts of free-ranging domestic cats (*Felis catus*) on birds in the United States: a review of recent research with conservation and management recommendations. *Proceedings of the Fourth International Partners in Flight Conference: Tundra to Tropics* 205-219.
- Driscoll, C.A., D.W. Macdonald, and S.J. O'Brien. 2009. From wild animals to domestic pets, an evolutionary view of domestication. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 16(1):9971-9978.
- Farnworth M.J., J. Campbell, and N.J. Adams. 2011. What's in a name? Perceptions of stray and feral cat welfare and control in Aotearoa, New Zealand. *Journal of Applied Animal Welfare Science*. 14(1): 59-74.
- Gerhold, R.W., and D.A. Jessup. 2013. Zoonotic diseases associated with free-roaming cats. *Zoonoses and Public Health* 60:189-195.
- Puerto Rico Tourism Company. 2016. Available at <http://www.prtourism.com/>. Accessed on October 2016.
- Kortis, B. 2013. Neighborhood cats. *TNR Handbook. The guide to trap-neuter-return for the feral cat caretaker*. 2nd Edition. Neighborhood Cats, Inc. 168p.
- Loss, S.R., T. Will, and P. Marra. 2013. The impact of free-ranging domestic cats on wildlife of the United States, *Nature Communications*. [Online] URL: http://www.abcbirds.org/abcprograms/policy/cats/pdf/Loss_et_al_2013.pdf

- Lepczyk, C.A., N. Dauphiné, D.M. Bird, S. Conant, R.J. Cooper, D.C. Duffy, P.J. Hatley, P.P. Marra, E. Stone, and S.A. Temple. 2010. What conservation biologists can do to counter trap-neuter-return: response to Longcore et al. *Conservation Biology* 24:627-629.
- Longcore, T., C. Rich, and L.M. Sullivan. 2009. Critical assessment of claims regarding management of feral cats by trap-neuter-return. *Conservation Biology* 23:887-894.
- Lowe, S., M. Browne, S. Boudjelas, and M. De Poorter. 2000. 100 of the world's worst invasive alien species: a selection from the global invasive species database. Published by The Invasive Species Specialist Group (ISSG) a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN), 12pp. First published as special lift-out in *Aliens* 12, December 2000. Updated and reprinted version: November 2004.
- Rodríguez Durán, A. J. Pérez, M. A. Montalbán, and J. M. Sandoval. 2010. Predation by Free-Roaming cats on an insular population of bats. *Acta Chiropterologica* 12(2):359-362.
- Schmidt, P.M., R. R. Lopez, and B. L. Pierce. 2007. Estimating free-roaming cat densities in urban areas: comparison of mark-resight and distance sampling. *Wildlife Biology in Practice* 3:18-27.
- Scott, K.C., J.K. Levy, and P.C. Crawford. 2002. Characteristics of free roaming cats evaluated in a trap-neuter-return program. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 221:1136-1138.
- Slater, M.R., A. Di Nardo, O. Pediconi, P. Dalla Villa, L. Candeloro, B. Alessandrini, and S. Del Papa. 2008. Free-roaming dogs and cats in central Italy: Public perceptions of the problem. *Preventive Veterinary Medicine* 84:27-47.
- United States Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service and Wildlife Services. 2003. Management of feral and free-ranging cat populations to reduce threats to human health and safety and impacts to native wildlife species in the Commonwealth of Puerto Rico. 69p.
- United States Census Bureau. 2010. Available at <https://www.census.gov/>. Accessed on November 2015.
- VanWormer, E., P.A. Conrad, M.A. Miller, A.C. Melli, T.E. Carpenter, and J.A. Mazet. 2013. *Toxoplasma gondii*, source to sea: higher contribution of domestic felids to terrestrial parasite loading despite lower infection prevalence. *EcoHealth* 10(3):277-289.
- Wald, D.M., S.K. Jacobson, and J.K. Levy. 2013. Outdoor cats: identifying differences between stakeholder beliefs, perceived impacts, risk and management. *Biological Conservation* 167: 414-424.
- Winter, L., and G.E. Wallace. 2006. Impacts of feral and free-ranging cats on bird species of conservation concern: a five-state review of New York, New Jersey, Florida, California, and Hawaii. *American Bird Conservancy*. 28p.

APPENDIX 1. Questionnaire.

ID: _____

Date: / /

Interviewer: _____

1. Are you a resident in Old San Juan (OSJ)?

1. No
2. Yes

Please, indicate your address within the zones (1/2/3/4/5/6) depicted in the map, and time of residency:

1. <1 year
2. 1-5 years
3. 6-10 years
4. > 10 years

2. Have you ever observed stray cats in OSJ?

1. No
2. Yes

In which ZONE in the map you have seen more cats?

1. Zone 1
2. Zone 2
3. Zone 3
4. Zone 4
5. Zone 5
6. Zone 6

APPENDIX 1. Questionnaire (continued).

3. Do you think that the amount of stray cats in OSJ represent any threat?

1. No

2. Yes

1. Which of the following problems do you consider as the most important one related to stray cats?

1. Public nuisance

2. Environmental

3. Economic and Politic

4. Human Health

5. Historic Conservation

6. Other

4. Do you think that there is a need to manage stray cats in OSJ?

a. No

b. Yes

APPENDIX 1. Questionnaire (continued).



APPENDIX 1. Questionnaire (continued).

DEMOGRAPHIC DATA

1. Gender: F M

2. Age: _____

3. Civil Status:

<input type="checkbox"/> Married	<input type="checkbox"/> Single	<input type="checkbox"/> Divorced	Widow(er)
----------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	-----------

4. Profession:

a. Technician _____, b. Professional _____, c. Public Employee _____, d. Retired _____,

e. Other _____

5. Formal education level

<input type="checkbox"/> < First Grade	<input type="checkbox"/> Elementary School = 1-6	<input type="checkbox"/> Intermediate School = 7-9
<input type="checkbox"/> High School = 9-12	<input type="checkbox"/> Assoc. Degree = 13-14	<input type="checkbox"/> Bachelor D. = 15-16
<input type="checkbox"/> Master D. = 17-18	<input type="checkbox"/> Doctorate D. = 19-22	<input type="checkbox"/> Post-doctorate = 23 +

6. Please, select AVERAGE ANNUAL FAMILY INCOME, (include the income of all family members living in the same house).

<input type="checkbox"/> \$0 - \$9,999	<input type="checkbox"/> \$10,000 - \$19,999	<input type="checkbox"/> \$20,000 - \$29,999
<input type="checkbox"/> \$30,000 - \$39,999	<input type="checkbox"/> \$40,000 - \$49,999	<input type="checkbox"/> \$50,000 - \$59,999
<input type="checkbox"/> \$60,000 - \$69,999	<input type="checkbox"/> \$70,000 - \$79,999	<input type="checkbox"/> \$80,000 o más

**BOSQUE URBANO COMUNITARIO DE CAPETILLO:
UN ESTUDIO EXPLORATORIO SOBRE COMUNIDADES URBANAS
Y SUS ESPACIOS VERDES**

Hagmel A. Vega Fontáñez, Natalia Rodríguez Ortiz,
Argenis Cátala Sánchez y Roselyn Méndez Resto*
Departamento de Ciencias Ambientales,
Universidad de Puerto Rico, Río Piedras

ABSTRACT

Open spaces in 21st century cities are presented as key elements to promote interaction with natural elements, furthering the development of an ecological society. An example of these open spaces is the Garden-Nursery and Community Urban Forest of Capetillo, in San Juan, Puerto Rico. The community of Capetillo has undergone processes of urban transformation, resulting in the degradation of the community environment. In the past, this space was used as a clandestine landfill and later transformed into a garden and urban forest through a collaborative effort between the University of Puerto Rico, Río Piedras Campus and community leaders. The collaborative effort enables the scenario for various environmental-community based nature activities. However, despite the current use of the urban forest, community leaders and project partners have identified low use and low exploitation of the space by the community. Our research project seeks to explore the perceptions and values attributed to the forest, to generate information that helps to establish strategies aimed at fostering the community-forest relationship, increase its use, and improve the quality of the community environment. To achieve the objectives of our research we collaborated with a group of residents, leaders and young people of the community using qualitative methods in a complementary way, such as: participatory activities, semi-structured interviews, and a group discussion. The findings of our study reflect a positive attitude towards the forest. An emphasis was identified on ecosystem services for provision, regulation and welfare. In addition, concerns were raised about forest management and maintenance. Elements of social cohesion and the development of good relations with the surrounding environment were also documented. The community forest of Capetillo promotes human-nature interaction, implying the encounter of social and ecological knowledge and learning acquired in open spaces of contemporary cities. **Keywords:** Urban green spaces, human-nature relationship, social cohesion, participation, urban environment transformations, ecosystem services.

RESUMEN

Los espacios abiertos en las ciudades del siglo 21 se presentan como elementos claves para promover la interacción con elementos naturales, fomentando el desarrollo de una sociedad ecológica. Un ejemplo de estos espacios abiertos es el

Huerto, Vivero y Bosque Urbano Comunitario de Capetillo, en San Juan, Puerto Rico. La comunidad de Capetillo ha experimentado procesos de transformación urbana, resultando en la degradación del ambiente comunitario. En el pasado, este espacio era utilizado como vertedero clandestino y, posteriormente, transformado en huerto y bosque urbano a través de un esfuerzo colaborativo entre la Universidad de Puerto Rico recinto de Río Piedras y líderes comunitarios. El esfuerzo colaborativo habilitó el escenario para diversas actividades de índole ambiental-comunitario. Sin embargo, a pesar del uso actual del bosque urbano, líderes de la comunidad y colaboradores del proyecto, han identificado una baja utilización y aprovechamiento del espacio por parte de la comunidad. Nuestro proyecto de investigación exploró las percepciones y valores atribuidos al bosque, con el objetivo de generar información que ayude a establecer estrategias dirigidas a fomentar la relación comunidad-bosque, aumentar su uso, y mejorar la calidad del ambiente comunitario. Para lograr dicho objetivo colaboramos con un grupo de residentes, líderes y jóvenes de la comunidad utilizando métodos cualitativos de manera complementaria, tales como: actividades participativas, entrevistas semi-estructuradas y un grupo de discusión. Los hallazgos de nuestro estudio reflejaron una actitud positiva hacia el bosque. Se identificó un énfasis en servicios ecosistémicos de provisión, regulación y bienestar. Además, se observaron inquietudes sobre el manejo y mantenimiento del bosque. También se documentaron elementos de cohesión social y el desarrollo de buenas relaciones con el ambiente que los rodea. El bosque comunitario promueve la interacción humano-naturaleza, implicando el encuentro de saberes y aprendizajes sociales y ecológicos adquiridos en espacios abiertos de ciudades contemporáneas.

Palabras clave: Espacios verdes urbanos, relación humano-naturaleza, cohesión social, participación, transformación del ambiente urbano, servicios ecosistémicos.

INTRODUCCIÓN

Los espacios verdes urbanos han formado parte integral en el desarrollo de las ciudades desde la época renacentista hasta la época contemporánea. Junto al desarrollo de parques urbanos, los espacios verdes, han sido un elemento fundamental en el desarrollo de los centros urbanos y en la formación de las sociedades (Rodríguez y Alarcón 2003). En la actualidad, debido a los procesos de expansión urbana y al aumento poblacional, los espacios verdes urbanos se han visualizado como componentes principales en el desarrollo de ciudades habitables y sustentables (Jim y Chen 2006). Elementos necesarios para que la ciudad mantenga su espacio ideal de interacción humano-ambiental. Los espacios verdes urbanos, al visualizarse como promotores de

relaciones socio-ambientales, poseen un rol en la formación de la identidad social de la ciudad.

Los espacios verdes en las ciudades proveen un sinnúmero de beneficios sociales y ambientales que resultan en el bienestar general de los habitantes de la ciudad (Chiesura 2004, Gómez Lopera 2005). En el contexto ambiental las áreas verdes proveen mejoras al ambiente urbano filtrando el aire de contaminantes, atenuando el ruido, disminuyendo las inundaciones urbanas y aportando a la regulación climática, entre otros beneficios (Wolch et al. 2014, Atiqul Hag 2011, Board 2005). Estos espacios pueden aportar a mejorar la salud pública proveyendo áreas para que la población urbana se ejercite y adquiera comida saludable (Hartig 2008 y Wolch et al. 2014). En el aspecto sociocultural

estos espacios proveen servicios de recreación, actividad económica e interacción social y de aprendizaje, los cuales se caracterizan por ser beneficios inmateriales (Niemela et al. 2010, Rodríguez y Alarcón 2003). Además, aportan a la interacción y participación ciudadana, contribuyendo en la formación de la identidad de la sociedad (Rodríguez y Alarcón 2003). Un ejemplo de espacios verdes que proveen estos beneficios en la ciudad son los huertos y jardines urbanos.

El desarrollo de huertos, bosques y jardines en las ciudades ha fomentado que la población adquiera conocimientos ecológicos, los cuales a su vez ayudan a que programas de gestión ambiental tengan una mayor aceptación entre los residentes de la ciudad y a que la relación humano-naturaleza se profundice (Cook et al. 2011). Igualmente, la presencia de áreas verdes en espacios comunales puede inducir en el desarrollo de valores compartidos, lo que fomenta buenas relaciones sociales en las comunidades (Barrios 2012). Tanto las relaciones sociales surgidas en dichos espacios, como las interacciones humano-ambientales deben ser estudiadas.

Estudiar las percepciones y valores ambientales relacionadas a los espacios verdes en las ciudades ayuda a entender el conocimiento sobre la relación entre el ser humano y su entorno, a fomentar y mejorar los programas de gestión de áreas verdes urbanas, y a contribuir con información relevante para la toma de decisiones en el desarrollo de estos espacios en las ciudades (Fernández 2008). Por esto y por todo lo antes mencionado se decidió desarrollar un estudio donde se exploraron analíticamente las percepciones y valores, de los residentes de la comunidad, atribuidos al bosque urbano presente en su comunidad. El propósito era generar información empírica, de utilidad a los administradores del bosque para el establecimiento de estrategias dirigidas a fomentar la relación comunidad-bosque,

aumentar el uso del espacio, y mejorar la calidad del ambiente comunitario.

ÁREA DE ESTUDIO: BOSQUE URBANO COMUNITARIO DE CAPETILLO

El desarrollo de huertos, jardines y bosques urbanos comunitarios ocurren generalmente en espacios degradados y en desuso a lo largo del tejido urbano (Ramos 2010). Espacios que, al no ser económicamente viables para el desarrollo, son abandonados por parte de los gobiernos y de la industria privada; permitiendo que sean aprovechados y utilizados por grupos socialmente excluidos para su beneficio (Ramos 2010, Dimuro y de Manuel 2011). Tal es el caso del proyecto del Huerto, Vivero y Bosque Urbano Comunitario de Capetillo (Fig. 1). El bosque de Capetillo es un ejemplo de un espacio urbano que, debido a las dinámicas socio-económicas se ha transformado, hasta ser hoy en día, un espacio verde y de uso comunitario. El mismo se fundó en el 2008 bajo la colaboración entre el Centro de Acción Urbana, Comunitaria y Empresarial de Río Piedras (CAUCE) de la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras (UPR-RP) y la comunidad de Capetillo. Esta se encuentra situada en Río Piedras uno de los centros urbanos tradicionales de mayor importancia en Puerto Rico.

El Bosque Urbano Comunitario de Capetillo comprende un área de 5,895 m² que al pasar de los años ha experimentado una serie de transformaciones. El espacio ha pasado de ser un área residencial, a un vertedero clandestino, y en la actualidad, gracias al esfuerzo comunitario, se ha convertido en un bosquecillo urbano. Desde el 2010 se comenzó un proceso de rescate y mejoramiento ambiental del espacio mediante diversas iniciativas, que incluyó elementos de educación ambiental y de movilización comunitaria; lo cual permitió limpiar el predio y mejorar sustancialmente su condición ambiental. A pesar de los esfuerzos de restauración, la condición ambiental

FIGURA 1. Área de estudio comunidad de Capetillo en Río Piedras.



del espacio sigue siendo un elemento de preocupación, y existe una baja utilización y aprovechamiento del espacio por parte de la comunidad. En general, el Bosque Urbano Comunitario de Capetillo cumple funciones ecológicas y socioculturales, pero tiene el potencial a futuro de maximizar estas y otras funciones, convirtiéndose en un espacio verde urbano utilizado para el disfrute, recreación y como elemento estructurador de una comunidad habitable.

METODOLOGÍA

Nuestra investigación se desarrolló mediante un acercamiento de investigación cualitativa, utilizando como técnicas principales las entrevistas semi-estructuradas. Dicho acercamiento cualitativo y participativo, fue posible a través de un proceso de inmersión comunitaria previo a la investigación. Se participó de diversas actividades, buscando entender cuál era la percepción de la comunidad

hacia el bosque y cuáles son los usos presentes del mismo.

En el transcurso del estudio se integró la participación de residentes adultos, jóvenes, y líderes de la comunidad, permitiendo que se documentara por primera vez la relación de la comunidad con dicho espacio. A continuación, los métodos implantados.

A) Entrevistas focalizadas en la comunidad de Capetillo:

Se realizó una recopilación de las percepciones y valoración de miembros de la comunidad de Capetillo hacia el espacio del Bosque Urbano de la comunidad.

B) Preguntas semi-estructuradas a líderes comunitarios y los administradores del Huerto, Vivero y Bosque Urbano de Capetillo:

El objetivo de las entrevistas fue entender cómo el proyecto se llevó a cabo y cuáles fueron los aspectos organizativos y administrativos desde sus comienzos, hasta lo que es hoy en día el espacio del Huerto, Vivero y Bosque de Capetillo.

C) Grupo de discusión con los jóvenes de la comunidad de Capetillo:

Dentro de la metodología utilizada se escogió la herramienta de discusión grupal. Ésta, se caracteriza por ser una discusión organizada para captar los puntos de vista de los participantes sobre un tema específico. Es una forma de comprender mejor cómo sienten y piensan las personas sobre algún tema, producto o servicio (Krueger y Casey 2009). El enfoque era poder obtener el insumo de los niños y niñas de la comunidad sobre como ellos perciben el bosque, y cuáles son los usos que se le dan en la actualidad al mismo.

RESULTADOS

Perspectivas del Bosque Comunitario

Siendo este el primer esfuerzo en documentar la interacción de la comunidad con el bosque, se comenzó con la exploración de su percepción sobre los bosques en general. Como primer hallazgo de nuestra investigación, identificamos que los residentes utilizaron el bosque de la comunidad como referente para expresarse sobre los bosques en general. Este hallazgo se documentó tanto en las personas adultas de la comunidad como en los jóvenes. Por lo tanto, los resultados que se ofrecen a continuación se centran en las perspectivas y valores de los residentes de la comunidad de Capetillo sobre el bosque en su comunidad.

Líderes de la Comunidad

La idea de llamarle bosque al espacio (antes de uso residencial), fue introducida a través del personal de la UPR-CAUCE, personal involucrado en su restauración. En especial por el Planificador y promotor del desarrollo del proyecto comunitario, el Dr. Germán Ramos, quien narra que los niños fueron los primeros en aceptar la palabra bosque. “Los niños siempre han sabido ver lo bueno del proyecto desde el primer día” por eso un bosque, porque ellos validaron el concepto de bosque, lo aceptaron.” Ramos añade que la creación y mantenimiento de los caminos y veredas aportó a la conformación del bosque. Según Ramos, el mantenimiento del bosque y sus veredas es lo que propiciará una perspectiva positiva hacia el mismo y la prevalencia de la percepción del espacio como un bosque. De manera que la concepción de bosque comunitario ha sido construida a través del tiempo por parte de líderes del proyecto externos a la comunidad, y posteriormente validada por los niños de la comunidad.

Luego de conversaciones con el propulsor del proyecto de Huerto, Vivero y Bosque Urbano Comunitario, una de las interrogantes que motivó nuestro trabajo, fue la falta de conocimiento sobre la relación de los residentes de Capetillo con el Bosque, y cómo se utilizaba. Cuando se preguntó a los líderes comunitarios reconocidos en el proceso del desarrollo del proyecto, cuál era el propósito del mismo, todas sus respuestas aludían a la promoción de interacción de las personas con la naturaleza, y el disfrute comunitario de un espacio natural y limpio para compartir. Otros líderes añadieron respectivamente, que el bosque fomenta la educación de personas, y el reconocimiento y admiración de la comunidad, por entidades externas. De manera que, para los líderes, un bosque comunitario es un espacio donde hay interacción entre la biodiversidad y la gente de la comunidad, en un espacio mantenido y cuidado por los mismos residentes. Consecuentemente, uno de los líderes incluyó en su descripción de bosque comunitario, la presencia de infraestructura o áreas para que las personas puedan pasar el tiempo, reflexionar y recrearse.

Residentes Adultos de la Comunidad

Los residentes adultos cercanos al bosque, le perciben como un espacio que les provee beneficios socioculturales. En general, la mayoría de los residentes expresaron que el bosque era un lugar que les brindaba tranquilidad, y reconocimiento frente a otras comunidades de diversos lugares en la isla.

Los atributos del bosque que los participantes identificaban describían su satisfacción al visitar el bosque y se traducían en beneficios sociales. Las expresiones que dominaban incluían aspectos como: la particularidad del espacio dentro de la comunidad, la provisión de alimentos, la regulación de temperatura a través de los árboles, tranquilidad, recreación y socialización. Las siguientes citas ejemplifican su sentir en torno a los aspectos mencionados.

Sobre la particularidad del espacio expresaron: “Es un ambiente único aquí en el barrio...sabe hablando de Capetillo abajo”. “Que es algo gratificante, no todas las comunidades lo tienen.” “Que uno se siente feliz en el Bosque, que se le debe dar más importancia porque no todas las comunidades tienen un bosquecito.”

Sobre el aspecto de tranquilidad les compartimos la siguiente: “Uno se siente relajado” “cero música” “relajado... brisa”. “Me siento feliz, siento alegría de los pajaritos”.

En relación a los beneficios sociales, los participantes describieron el espacio como un lugar donde podían recrearse, estar y pasar el rato, remontarse al pasado de la comunidad, y donde se fomenta el aprendizaje. Uno de los participantes mencionó: “Muy bueno que haya un bosque, hay cosas buenas, que uno puede querer la naturaleza y aprender de ella.”

Sobre el establecimiento de una conexión con el pasado de la comunidad a través del bosque, y la aceptación del mismo, los residentes expresaron: “Me siento muy satisfecho. Es un sitio pequeño, pero uno lo compara con lo que era el Puerto Rico de atrás, al bajar uno ahí puede ver ese pasado”. “Bien excelente, eso es lo mejor que han hecho, es verdad que peleamos, pero fue mejor.” Cabe señalar y recordar que el espacio donde se encuentra el bosque, ha sufrido varias transformaciones, siendo uno de sus usos pasados, el espacio residencial de 22 familias.

Además de los beneficios del bosque comunitario, los participantes mencionaron aspectos relacionados a su manejo. Concretamente los residentes expresaron que un bosque comunitario debe ser cuidado por la comunidad, y recalcaron la particularidad del lugar en la zona urbana. Finalmente, también hubo expresiones sobre las experiencias de aprendizaje que provee el

espacio, a través de actividades de monitoreo de calidad ambiental.

Jóvenes de la Comunidad

Los jóvenes de la comunidad que participaron de la investigación también asociaron su definición sobre bosque en general, con el bosque de la comunidad. Cuando se les preguntó a los jóvenes qué le venía a la mente cuando se les decía la palabra bosque, mencionaron elementos alusivos a la experiencia, y a elementos biofísicos observables en el bosque de Capetillo. Los elementos alusivos a experiencia fueron: aire fresco, sombra, silencio, tranquilidad, patio, espacio libre, y donde se pueden observar los árboles. Los elementos alusivos a elementos biofísicos observables en el bosque fueron: frutas, aves, río/quebrada, lugar para que los animales vivan, hábitat, plantas, vegetación, grama, y lugar donde se siembran plantas. Sobre lugar donde se siembran plantas, es importante señalar que esto está asociado a actividades llevadas a cabo en todo el proyecto del Huerto, Vivero y Bosque Urbano Comunitario de Capetillo.

Gran parte de la discusión con los jóvenes, se tornó en un momento hacia la presencia de los cerdos de unos vecinos, al interior del bosque. Todos los jóvenes estuvieron de acuerdo en que no deben estar allí debido al mal olor que provocan, y las enfermedades que podrían ocasionar. Además, uno de los participantes mencionó acciones necesarias para mejorar la condición del bosque. Específicamente remover una casa que se está cayendo, y limpiar la quebrada. Todos los jóvenes presentes estuvieron de acuerdo.

Las respuestas de los jóvenes se desprenden, tanto de una valoración intrínseca del bosque, como de uso (Robbins, Hintz y Moore 2011). La valoración intrínseca se documentó a través de la mención de elementos del bosque que aluden

a su descripción biofísica independientemente de la presencia del componente humano. Sin embargo, los jóvenes también mencionaron aspectos alusivos al uso recreativo del bosque, los cuales representan servicios ecosistémicos socioculturales, implicando un uso instrumental (Board 2005).

Perspectivas de Usos y Servicios del Bosque de Capetillo

Los hallazgos documentados en la sección anterior, representaban el espacio exploratorio de nuestra investigación para conocer sus percepciones en general sobre los bosques. A pesar de esto, y como se mencionó anteriormente, las respuestas mostraron una tendencia hacia relacionar sus visiones con el bosque de la comunidad y los servicios que este provee. A diferencia de la sección anterior, a continuación, se presenta la información obtenida luego de una indagación explícita sobre los usos y servicios del bosque, los cuales se presentarán utilizando como base analítica el concepto de servicios ecosistémicos (Board 2005).

Líderes de la Comunidad

Los usos del espacio donde se desarrolla el bosque en la actualidad se enmarca en la transformación de dicho espacio. Debido a que el desarrollo inicial del bosque implicó la demolición de casas, los usos del espacio que es ahora el bosque, variaron entre actividades ilícitas y legales. El depósito de basura es un uso conflictivo del espacio, con el cual aún se batalla en la comunidad. A pesar de esto, y gracias al esfuerzo colaborativo entre personal de CAUCE y líderes comunitarios, el espacio se ha convertido en la actualidad en un bosque secundario albergando biodiversidad de flora y fauna. Además, se utiliza para la realización de actividades recreativas, de limpieza, y de monitoreo y educación ambiental. Los niños utilizan el espacio para

jugar, y los jóvenes le utilizan en las actividades de limpieza.

El Bosque Urbano Comunitario de Capetillo es el escenario actual de actividades asociadas a la temática ambiental, pero para los líderes comunitarios, el espacio de bosque posee un significado histórico muy importante, que ubica las vidas de familiares y vecinos allí. En otras palabras, es un lugar cargado de historias de vida de la comunidad. Todos ellos vieron la transformación de un espacio residencial, al bosque de hoy día. Cabe señalar que uno de los participantes expresó que el espacio carecía de significado porque la gente que estaba allí ya no está. A pesar de esto, en otros momentos de la entrevista, el participante expresó que el bosque es algo positivo para la comunidad, y que hay que mantenerlo limpio y preparar actividades donde la comunidad pueda compartir.

Residentes Adultos de la Comunidad

El bosque de la comunidad de Capetillo es utilizado por diferentes residentes de distintas maneras. El contexto del bosque es urbano, e intrínsecamente rodeado y desarrollado alrededor de componentes humanos. Las respuestas de los participantes reflejan usos del bosque discutidos en la literatura de servicios ecosistémicos que inciden en las categorías de servicios ecosistémicos de soporte, provisión, regulación, y culturales (Board 2005). Entre los servicios culturales los participantes mencionaron: contemplación de los árboles, recreación, desahogo, colaboración entre vecinos (incluyendo niños y adultos) en actividades de poda de árboles, limpieza y preparación de alimentos. Sobre el servicio de regulación los participantes mencionaron que la sombra de los árboles y el río les refresca, y uno de los participantes identificó el bosque como promotor de lluvia. Esto es interesante porque se reconoció el bosque como un elemento dentro del ciclo hidrológico. Igualmente, se identificaron servicios de

provisión, en términos de la obtención de alimentos a través de la vegetación presente en el bosque como: palmas, árboles de pana, guineos, acerola, coco, poma rosa, plátano, y guineo. Todos los servicios ecosistémicos mencionados promueven cohesión social entre los miembros de la comunidad a través del bosque como lugar de encuentro comunitario. Asimismo, son indicadores de bienestar en términos de las personas sentirse bien estando allí, desarrollando buenas relaciones sociales y teniendo acceso a material básico para la vida (Board 2005). Una de las expresiones que resalta el uso del bosque fue: “Nos ha dado comida en el pasado y todavía nos puede dar”.

Jóvenes de la Comunidad: Sus Visiones del Bosque

Durante el proceso del grupo de discusión se trabajó un ejercicio de asociación de palabras e imágenes relacionadas directamente al bosque de Capetillo en el que participaron seis jóvenes de la comunidad. Del ejercicio surgieron tres mapas conceptuales (Fig. 2), discutiremos su análisis a continuación. El desarrollo de mapas mentales es una técnica utilizada para auscultar las representaciones del espacio, contribuyen a la construcción socio espacial del lugar estudiado y ayudan a comprender la relación del individuo con el espacio que le rodea (Alba 2004).

Los jóvenes participantes expresaron su sentir sobre lo que representa para ellos el bosque de Capetillo. El ejercicio permitió validar visiones del espacio como uno de recreación e identitario de la comunidad, surgidas durante la creación de los mapas como se detalla a continuación.

Cuando les indicamos que asociaran las palabras e imágenes que se relacionaran al bosque de Capetillo, se observó que los participantes asociaron el bosque con elementos de las problemáticas presentes en

FIGURA 2. Ejemplos de los mapas construidos por los jóvenes participantes respondiendo a la interrogante: ¿Qué palabras e imágenes relacionas con el bosque de Capetillo?



el espacio (seguridad y salud), y con servicios de provisión, regulación, y elementos culturales. Sobre servicios de provisión los jóvenes mencionaron cosecha, trabajo y siembra. Al abundar sobre el concepto del trabajo se observó que lo relacionan al mantenimiento o gestión del bosque. Los participantes expresaron sobre el trabajo: “somos lo que trabajamos recogiendo basura” y “si limpiamos podemos tener un área limpia y podemos hacer actividades”. En relación a los servicios de regulación el elemento que mencionaron fue el fresco. Bajo los servicios culturales se caracterizó el despejar la mente, tranquilidad, diversión y compartir. Y en los elementos de salud y seguridad se mencionaron la criminalidad, los mosquitos, la contaminación y la limpieza. Sobre el concepto criminalidad uno de los participantes expresó: “Crimen porque viene mucha gente de afuera a tirar basura. Eso molesta porque después uno limpia, hay que cerrarlo poner un portón”. Aquí también vemos el concepto de control de acceso para regular el problema de basura, además se observa la relación que hacen al crimen ambiental de arrojar basura.

Al indicarles que seleccionaran las palabras o imágenes con mayor significado sobre el bosque se mencionó la siembra, despejar la mente y trabajo. Estos tres elementos son adquiridos de las experiencias vividas en el espacio verde de su comunidad, y que están relacionados a los servicios ecosistémicos de provisión y culturales los cuales aportan a los constituyentes de bienestar humano, estando relacionados a materiales básicos para la vida saludable, y elementos de buenas relaciones sociales (Board 2005). Finalmente, al indagar sobre el significado de las palabras e imágenes que asociaron uno de los participantes expresó que seleccionaron las palabras “porque es lo que se encuentra en el bosque”.

Sobre el significado general del bosque los jóvenes indicaron que “es muy importante porque es parte de nosotros, de aquí del barrio” y “que es de todos, paz, tranquilidad y trabajo”. Finalmente, al reflexionar sobre la importancia de poseer un espacio verde en su comunidad se expresó “Que venga otra gente de otros lugares y que digan en Capetillo hay un bosque y nos representa por eso, sepan donde es Capetillo por el bosque”. Las respuestas de

los participantes muestran que el bosque le da sentido de identidad a la comunidad. Vale la pena recordar que el bosque también ha significado el espacio de trabajo de muchos de ellos. Esto es muy importante ya que implica un espacio de formación en el desarrollo y aprendizaje para los jóvenes de la comunidad.

En general, los jóvenes participantes en el ejercicio de asociación de palabras e imágenes tienen una percepción positiva al espacio del bosque de Capetillo. Notamos que hay una inclinación a reconocer el bosque como parte de su comunidad, y que reconocen la importancia de trabajar desde la comunidad para que el bosque este mejor.

Perspectivas de Manejo, Problemáticas Identificadas, y el Bosque a Futuro

Además de las perspectivas generales hacia el bosque, nuestra investigación también abordó temáticas relacionadas a su manejo, saliendo a relucir diferentes problemáticas, pero también propuestas de gestión del bosque de cara al futuro.

El proyecto del Huerto, Vivero y Bosque Comunitario de Capetillo está enmarcado en el comanejo del espacio, puesto que la parte administrativa la maneja la Universidad de Puerto Rico a través de CAUCE, y los trabajos realizados día a día en el proyecto por los jóvenes y adultos de la comunidad. Sobre el manejo del bosque uno de los participantes sugirió la necesidad de incorporar colaboraciones con otras organizaciones que tienen fines similares. Entre ellas, la organización del Estuario de la Bahía de San Juan, el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (para que pueda seguir gestionando más de cerca la limpieza de los cuerpos de agua del bosque) y la UPR-RP enviando más estudiantes que hagan prácticas o investigaciones que aporten, tanto al desarrollo del estudiante, como a la creación de proyectos que mejoren y ayuden al

desarrollo del bosque. Aunque el manejo del bosque es entre la comunidad y UPR-CAUCE, hay otras organizaciones que pueden ser parte integral como apoyo para que el proyecto pueda tener mayores recursos logrando mejores condiciones ambientales para el disfrute y seguridad de los residentes.

En relación a las problemáticas percibidas del bosque, podemos mencionar la pobre interacción de los residentes adultos de la comunidad con el bosque. Sobre este asunto uno de los participantes y administrador del proyecto mencionó la necesidad de “tener promoción que atraiga a las personas a visitar, que no vean el bosque como un basurero, que lo vean como que ayuda a que la Quebrada Juan Méndez y sea un lugar más limpio”. Aunque a través de nuestra investigación hemos explorado que sí existe una utilización del espacio, persiste la necesidad de incorporar los residentes adultos a los asuntos relacionados al bosque. Es decir, aumentar su participación en la parte administrativa y de gestión del espacio. Uno de los participantes mencionó “hoy en día vemos el bosque lejos de nosotros”.

Otra de las problemáticas percibidas sobre el acercamiento de las personas al espacio del bosque permea en la necesidad que los vecinos de Capetillo puedan reconocer el espacio como bosque. Esta dinámica podría deberse a que el espacio aún se encuentra en proceso de restauración, y que su situación geografía haga que el espacio no sea visible fácilmente (el bosque se encuentra en la parte posterior del huerto y en la parte más baja de la comunidad). Además de dicha problemática, el asunto del continuo depósito de basura en la entrada del bosque constituye también otro problema actual. Un elemento que agrava esta situación es la presencia de una casa abandonada y dilapidada en una de las entradas del bosque, la cual representa foco de atracción para que diversas personas arrojen basura o escombros cerca de la propiedad. Sobre este asunto uno de

los participantes hace mención que, “esta casa impide que el bosque se siga desarrollando”. A pesar de las problemáticas mencionadas, los residentes participantes reconocen la necesidad de mejorarlo para que se pueda sacar un mayor provecho.

En las entrevistas semi-estructuradas se identificaron recomendaciones sobre cómo les gustaría ver el bosque a futuro y del tipo de actividades que les gustaría que se desarrollaran. Se mencionó la necesidad de habilitar el bosque, “darle sentido” como dice un participante, desarrollar infraestructura para que se puedan realizar actividades. Varios participantes coinciden en la necesidad de desarrollar actividades para los niños y jóvenes de la comunidad, al igual que actividades educativas. Uno de los participantes hace referencia a esto: “actividades que se basen en los niños, los que hacen la comunidad son los niños”. A través de nuestras observaciones participes notamos que es precisamente esta población de la comunidad la que más participa en las actividades desarrolladas en el bosque, y son sus principales usuarios. También, otra participante expresa lo siguiente al preguntarle ¿qué cosas pueden hacerse en el bosque?: “Para que los niños jueguen, quizás hasta un columpio y esas cosas, para los adultos también. Pues todo tipo de actividad, para aprender, el bosque se ve cómo se siembra, cómo se trabaja, aprendes a trabajar en la comunidad”. En esta cita vemos que se expresa también la necesidad de desarrollar actividades para adultos, y que la experiencia de trabajar en el bosque y de participar en las actividades genera un aprendizaje y promueve la vida en comunidad. Por otro lado, la siembra de árboles y plantas comestibles, hacer podas selectivas, colocar zafacones y letreros con la información de los árboles, desarrollar lugares para sentarse y veredas por donde caminar son las recomendaciones en relación al manejo del bosque. También, se mencionó la importancia de desarrollar actividades para atraer a personas

no residentes y de otras comunidades para dar a conocer el bosque en la comunidad. Reconocen que esta particularidad no es común en las comunidades urbanas puertorriqueñas. Otro de los elementos que resalta es la propuesta de desarrollar una junta de vecinos que esté a cargo de trabajar los conflictos socio-ambientales de la comunidad.

DISCUSIÓN

Nuestros hallazgos reflejan que existe una apreciación positiva hacia el Bosque Urbano Comunitario de Capetillo. A pesar que todavía se encuentra en proceso de restauración, el bosque provee una diversidad de servicios ecosistémicos que resultan en beneficios para los residentes de Capetillo. Los jóvenes, son los residentes que más se relacionan con el bosque. Esto podría ser un reflejo del programa educativo ambiental que se ha desarrollado en el proyecto del Huerto, Vivero y Bosque Urbano Comunitario de Capetillo, ya que han sido estos jóvenes los que han trabajado directamente en la restauración ambiental del espacio. Un elemento evidente que hemos documentado es que la gran mayoría de participantes tiene como referente de bosque al bosque de su comunidad. Esto puede identificarse como una relación positiva con el espacio, o también podría significar que el espacio del bosque de la comunidad les ha permitido a los residentes tener sus experiencias interactuando con la naturaleza. Dicha utilización del bosque de la comunidad como referente, es un reflejo de lo que algunos estudios exponen sobre los espacios verdes en la ciudad, los cuales propician encuentros con la naturaleza fomentando el desarrollo de una sociedad ecológica (Cook et al. 2011, Bendt et al. 2013).

En relación a la aceptación del bosque documentamos que los residentes propician que se desarrollen actividades. Al conocer que existe un uso del espacio interpretamos que el

proyecto del Bosque Urbano Comunitario de Capetillo ha comenzado a tener una aceptación por los residentes de la comunidad, y existe dentro del imaginario comunitario (por lo menos en la mayoría de los participantes). Esto puede deberse a que hay una interacción directa con el bosque, o que simplemente los jóvenes, a través de sus prácticas diarias en el huerto y/o bosque, transmiten ese conocimiento y apreciación hacia el bosque.

En general, podemos observar que existe un sentido de pertenencia por parte de la comunidad y muy especial por el bosque comunitario. Existe una disponibilidad general a participar para mejorar el bosque y su comunidad. La presencia del bosque ha propiciado mayor sentido de propiedad hacia la misma, y se ha convertido en un elemento de orgullo para los jóvenes y adultos (Scannell y Gifford 2010, Stewart et al. 2004). Por lo que podemos deducir que el Bosque Urbano Comunitario de Capetillo se ha convertido en un elemento clave para el desarrollo de una comunidad habitable.

En conclusión, podemos observar cómo los participantes del estudio relacionan conceptos que aportan al desarrollo de un bosque sustentable. Un espacio en donde se fomenta la interacción humano-naturaleza, y que se provoque la provisión de servicios que promuevan la diversidad ecológica, la cohesión social y el desarrollo del capital social. Es por esto que la integración de las percepciones, valores y usos de los bosques por parte de las comunidades es de vital importancia para el proceso de manejo de bosques, si se busca cumplir con los fines de la conservación de la biodiversidad (Martínez 2009).

CONCLUSIÓN

El Bosque Urbano Comunitario de Capetillo es un ejemplo de gestión socio-ambiental exitoso ante los diversos eventos de

transformación que ha experimentado. El éxito del proyecto, en términos de su permanencia a través del tiempo, se debe a su gente y a los procesos de transformación ambiental y comunitaria que se ha realizado. En la actualidad se continúa construyendo un bosque comunitario entre los cimientos de lo que una vez fue un espacio residencial. Su ubicación y entorno han sido el escenario, de esfuerzos de restauración comunitarios históricos, donde aún se lucha por evitar su deterioro y contaminación. La prevención, y la solución desde la raíz de problemáticas relacionadas a la infraestructura de descargas de aguas usadas y desperdicios sólidos, deberían ser fundamental para el desarrollo sustentable de la comunidad, y son aspectos que se están trabajando. Esfuerzos educativos y de gestión ambiental como los llevados a cabo con los jóvenes en el bosque deben seguirse promoviendo para lograr el desarrollo máximo del Bosque Urbano Comunitario de Capetillo.

De acuerdo a las percepciones y valores atribuidos al bosque, la utilización del mismo es de beneficio a quienes viven a sus alrededores, visitantes externos, e investigadores. Según la información recopilada los vecinos consideran que es necesaria una estructura organizativa a nivel de comunidad, y a su vez física para delimitar la entrada al bosque. De esta manera, se facilitaría la custodia del espacio. Una infraestructura para así poder establecer estrategias dirigidas a fomentar la relación comunidad-bosque, aumentar su uso, y mejorar la calidad del ambiente comunitario. Entre las estrategias de manejo se recomendó el desarrollo de infraestructuras para promover el compartir comunitario, tener control sobre el acceso al lugar, y evitar la problemática de depósito de desperdicios sólidos de manera ilegal. Finalmente, la interacción con la naturaleza y disfrute del espacio de un bosque limpio para uso común, estuvo presente consistentemente en las perspectivas y recomendaciones de los participantes. Sus expresiones reflejan que

el mejoramiento de la calidad del ambiente comunitario, la salud y la seguridad están entre sus prioridades.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la comunidad de Capetillo por permitirnos colaborar en este estudio. También, queremos agradecer especialmente a la colaboración de Ángel “Gelo” Guevarez, al Dr. Germán Ramos, al Dr. Jorge Ortiz y al Dr. Federico Cintrón Moscoso por ser nuestros mentores y participar del proyecto. Nuestro agradecimiento a Pedro Hansel Catillo, Luis Villanueva Cubero, Mara Rivera Cardec, Marianne Cartagena Colón y Denis Vázquez Ortiz por su aporte en el desarrollo del estudio. Este proyecto de investigación fue realizado con el apoyo del proyecto Integrative Graduate Education and Traineeship (IGERT, por sus siglas en inglés. Financiado por la Fundación Nacional de Ciencias – NSF #0801577).

REFERENCIAS

- Alba, M. (2000). Mapas mentales de la Ciudad de México: una aproximación psicosocial al estudio de las representaciones sociales. *Estudios Demográficos y Urbanos* Vol. 191(22):115-143.
- Atiqul Haq, S. Md. 2013. Nexus between perception, environment and fertility: A study on indigenous people in Bangladesh. *Sustainable Development* 21: 372–384.
- Barrios, J. 2012. Ecosistemas urbanos. *Revista Ambienta* 98:212-03-01.
- Bendt, P., S. Barthel y J. Colding. 2013. Civic greening and environmental learning in public-access community gardens in Berlin. *Landscape and Urban Planning* 109: 18-30.
- Board, M.A. 2005. Millennium ecosystem assessment. New Island, Washington, DC.
- Chiesura, A. 2004. The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape and Urban Planning* 68: 129-138.
- Cook, E., S. Hall y K, Larson. 2011. Residential landscapes as social-ecological systems: a synthesis of multi-scalar interactions between people and their home environment. *Urban Ecosystems* 15(1): 19-52.
- Dimuro, G. y E. de Manuel. 2011. La agricultura urbana como proceso de desarrollo a escala humana: Los huertos en zonas degradadas de Sao Paulo. Artículo presentado en XII N-AERUS. Madrid. España.
- Jim, C.Y. y W. Chen. 2006. Perception and attitude of residents toward urban green spaces in Guangzhou (China). *Environmental Management* Vol.38, 3:338-349.
- Fernández, Y. 2008. ¿Por qué estudiar las percepciones ambientales? Una revisión la literatura mexicana con énfasis en áreas naturales protegidas. *Espiral, Estudios sobre Estado y Sociedad*. Universidad de Guadalajara. Vol. 15, 43: 179-202.
- Gómez Lopera, F. 2005. Las zonas verdes como factor de calidad de vida en las ciudades. *Ciudad Y Territorio Estudios Territoriales*, XXXVII 144:417-436.
- Guerrero Pérez, C. 2006. Análisis preliminar sobre las experiencias de colaboración y gestión comunitaria en las áreas protegidas de Puerto Rico. *Revista de Administración Pública* Vol.39 2:49-66.
- Hartig, T. 2008. Green space, psychological restoration, and health inequality. *Lancet*, Vol. 322, 9650:1614-1615.
- Krueger R.A. y M.A. Casey. 2009. Focus groups. A practical guide for applied research 4th ed. SAGE Publications. Thousand Oaks, California.
- Martínez, J. 2009. Comunidad, estado y naturaleza: La ecología política del manejo colaborativo de bosques. *Revista de Ciencias Sociales* 20: 128-155.

- Niemela, J., S.R. Saarela., T. Soderman., L. Kopperoinen., V. Yli-Pelkonen., S. Vare y D.J. Kotze. 2010. Using the ecosystem services approach for better planning and conservation of urban green spaces: a Finland case study. *Biodiversity and Conservation* 19:3225-3243.
- Ramos, G. 2010. Cultivando ciudadanía en Capetillo: Nace un huerto comunitario, vivero y bosque urbano. Presentado en Conferencia Caribeña de Forestación Urbana y de Comunidades. Servicio Forestal (USDA). Ponce, Puerto Rico.
- Robbins, P., J. Hintz y S.A. Moore. 2011. *Environment and society: a critical introduction* Vol. 13. John Wiley & Sons, Malden, MA.
- Rodríguez, L. y R. Alarcón. 2003. Para llamarse ciudad. Áreas verdes y espacios de paz en la ciudad presente. *Revista Austral de Ciencias Sociales*. 7:129-138.
- Scannell, L. y R. Gifford. 2010. The relations between natural and civic place attachment and pro-environmental behavior 30:289-297.
- Stewart, W., D. Liebert. y K. Larkin. 2004. Community identities as visions for landscape change. *Landscape and Urban Planning* 69:315-334.
- Wolch, J., J. Byrne y J. Newell. 2014. Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'. *Landscape and Urban Planning* 125:234-244.

TEORÍA TRANSDISCIPLINARIA AL SERVICIO DE LOS MÁS VULNERABLES: ESTUDIO DE CASO DEL RÍO MAMEYES, PUERTO RICO

Adaíl Alicea Martínez¹, Nora Álvarez Berríos^{1,2} y Natalia B. Álvarez Negrón¹

¹Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras

²Centro Climático del Caribe, Instituto Internacional de Dasonomía Tropical

RESUMEN

El río Mameyes, localizado al noreste de Puerto Rico, está considerado como uno de los ríos mejor preservados en la isla. El río, cuyo caudal comienza en el Bosque Nacional El Yunque, está protegido aguas arriba por una designación federal del Programa de Ríos Silvestres y Pintorescos de los EE.UU. Sin embargo, lo mismo no ocurre aguas abajo, donde no tiene tal protección y está compartido por distintos constituyentes, incluyendo un hotel de lujo y varias comunidades marginadas. El objetivo de este trabajo es estudiar el río Mameyes a través de una perspectiva de justicia ambiental que examina la distribución de derechos declarando que ningún grupo debe cargar desproporcionalmente con el peso de las consecuencias negativas de actividades tanto comerciales como industriales. Se resumen diferentes marcos teóricos, como la justicia ambiental, que aplican un mejor manejo de los recursos de la cuenca del río Mameyes y de la vida de los grupos más vulnerables. Como resultado del trabajo se creó un modelo utilizando un sistema de información geográfica para identificar las áreas con prioridad de conservación en la cuenca.

Palabras clave: Conservación del río Mameyes, Bosque Nacional El Yunque, exclusión, rivalness, justicia ambiental, propiedad pública.

ABSTRACT

The Mameyes River, located in Northeast Puerto Rico, is considered one of the best preserved rivers on the island. The river, whose flow begins in the El Yunque National Forest is protected upstream by a designation of the Federal Program of Wild and Scenic Rivers of the United States of America. However, the same level of conservation does not occur downstream, where it has no such protection and the Mameyes River is shared by different stakeholders, including a luxury hotel and several marginalized communities. The objective of this work was to study the Mameyes River through an environmental justice perspective that examines the distribution of rights stating that no group should be disproportionately overloaded with the weight of the negative consequences of both commercial and industrial activities. We summarized different theoretical frameworks, such as environmental justice, which apply to a better management of the resources of the Mameyes River basin and lives of the most vulnerable groups. Consequently, we built a model using GIS analysis to identify priority conservation areas in the watershed.

Keywords: El Yunque National Forest, exclusion, rivalness, environmental justice, public property, Conservation of Río Mameyes.

INTRODUCCIÓN

Para abordar el estudio de caso del río Mameyes es necesario conocer el surgimiento del concepto de justicia ambiental y los dilemas que existen por la definición del término. Históricamente, en Estados Unidos, existía una tendencia por parte del movimiento ambientalista a separarse de los movimientos de lucha por los derechos civiles y de justicia social por miedo a que posibles alianzas ocasionaran un efecto negativo en su objetivo (Ringquist 2003). Como resultado de múltiples luchas que surgen en contra de la localización de facilidades de depósito de desperdicios tóxicos peligrosos, se van desarrollando diversas alianzas entre grupos de justicia social y grupos ambientalistas y, por ende, se le da un reconocimiento al enlace que existe entre ambos grupos. En el año 1990 la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) responde a estas luchas (Ringquist 2003) y crea la Oficina de Justicia Ambiental (López Feliciano 1999).

El término “justicia ambiental” es adoptado históricamente en el año 1991 como resultado del primer estudio sobre este tema llevado a cabo a nivel nacional por el United Church of Christ’s Commission for Racial Justice (CRJ) y publicado en 1987 titulado *Toxic Wastes and Race in the United States: a National Report on the Racial and Socio-Economic Characteristics of Communities with Hazardous Waste Sites* (Chavis 1987). Mediante un análisis estadístico el estudio demuestra la correlación entre el por ciento de residentes pobres y pertenecientes a grupos minoritarios versus la cantidad de facilidades de depósito de desperdicios tóxicos (Ringquist 2003). En el año 1994, bajo el gobierno del Presidente Bill Clinton, se adopta la Orden Ejecutiva (OE) 12898 (*Federal Actions to Address Environmental Justice in Minority Populations and Low-Income Populations*), con el propósito de enfocar la atención hacia las condiciones medioambientales y humanas

de las poblaciones de bajos ingresos y minoritarias para así establecer una política pública de justicia ambiental federal con el objetivo lograr la protección ambiental de todas las comunidades (USEPA [n.d.]).

DILEMAS EN TORNO AL CONCEPTO DE “JUSTICIA AMBIENTAL”

Según la OE 12898, el término “Justicia Ambiental” significa que toda persona tiene el derecho al trato imparcial y que bajo ninguna autoridad (política o económica) deberá ninguna población llevar la carga de los efectos negativos como consecuencia de contaminantes al medioambiente. Sin embargo, a pesar de esto, existen ciertas interrogantes o argumentos con relación a este tema. Los cuestionamientos surgen como consecuencia de la prevalencia de una disparidad y discriminación hacia algunos sectores sociales, así como la falta de concientización sobre la conservación de los recursos.

Existen dos perspectivas principales sobre el concepto de “justicia ambiental”: una ambiental, que tiene como base el derecho del ser humano a una mejor calidad de vida, y una ecológica, que reconoce los derechos y valores intrínsecos de la naturaleza o esos atributos independientes del ser humano que permanecen aún en ausencia de éstos (Gudynas 2010). Como producto de la modernidad, prevalece la postura antropocéntrica, en la cual el valor que se le asigna a la naturaleza es en función de lo que ésta le provee al ser humano. Esta visión coloca al humano como un ente separado y distinto a la naturaleza. Esta postura ética antropocéntrica tiene como enfoque central la apreciación de la importancia de mantener un ambiente sano para el bienestar de los seres humanos. Dentro de esta visión, la naturaleza es valorizada de manera indirecta, solamente por los beneficios que pueda brindar. Sin embargo, la ética ambiental requiere que el ser humano expanda su moral más allá del valor

de la cultura humana (Gudorf y Huchingson 2003). La corriente del “biocentrismo”, por su parte, rompe con las posturas convencionales reconociendo una pluralidad de valores como los culturales, estéticos, religión, entre otros, e incluye además los valores ecológicos e intrínsecos rompiendo con la idea de la valoración económica como la de mayor importancia al hablar sobre el medioambiente (Gudynas 2010).

El concepto de “justicia ambiental” entrelaza asuntos clásicos de justicia social y sus aspectos ambientales, evidenciándose esto mayormente en la coexistencia entre las condiciones ambientales en proceso de deterioro y de elementos de pobreza, marginación y segregación racial. El resultado de las luchas pasadas relacionadas a estos asuntos antes mencionados provocó el surgimiento del movimiento de la justicia ambiental (López Feliciano 1999, Ringquist 2003, Ernstson 2013).

Existe una percepción de que el rechazo al concepto o a la idea de justicia ambiental e incluso, la promoción de ésta, tiene como premisa una postura antropocéntrica que entiende que se debe defender la calidad de vida de las personas o del medio ambiente pero todo esto en función de las personas dejando a un lado el reconocimiento de los derechos propios de la naturaleza. Se argumenta que debiera establecerse un concepto nuevo de “justicia ecológica” que complemente al concepto ya existente.

Visto desde una perspectiva constructivista, dentro de los conceptos de la teoría del movimiento social, los problemas ambientales son considerados constructos sociales producto de procesos colectivos, siendo los grupos en la sociedad quienes perciben, identifican y definen a través del desarrollo de significados compartidos así como los marcos de referencia establecidos (Taylor 2000). Son todos estos

procesos los que contribuyen a su vez a las diversas definiciones del “medioambiente” y a la manera en que éste es utilizado (Ali 2001, Schlosberg 2013). De esta forma se desarrolla la discusión sobre los beneficios que los humanos y la sociedad pueden obtener de los procesos biofísicos que forman parte del ambiente entrelazándolos con los procesos sociales y políticos (Ernstson 2013). Como consecuencia del proceso de desarrollo de este movimiento, se argumenta que el concepto de “justicia” es uno de índole social (Ali 2001) influenciado por las estructuras culturales e institucionales, así como también por procesos económicos y políticos actuales. Todos estos procesos a su vez contribuyen a la inequidad, exclusión y falta de reconocimiento de algunos sectores sociales. Los asuntos centrales dentro de la discusión del término “justicia” a nivel teórico lo son: la concepción de la “justicia” como “reconocimiento”, la igualdad y la participación (Schlosberg 2003); siendo así que la combinación de la falta de reconocimiento y participación de pie a la desigualdad. Todos estos asuntos son dependientes de la “localización social”, que es lo que determina los marcos de referencia que son establecidos por los distintos grupos involucrados usualmente como resultado de sus ideologías y creencias (Taylor 2000).

A través de estos marcos de referencia establecidos es que surge el concepto la justicia ambiental, como resultado de las preocupaciones hacia la justicia social, democracia y derechos humanos y es precisamente esto lo que convierte en un error el pretender atender los asuntos de justicia social como algo separado de los asuntos ambientales a diferencia de esto todo ser considerado más bien como parte de los procesos sociales y políticos (Ali 2001)

El río Mameyes es un estudio de caso que se enmarca dentro del marco teórico de la justicia ambiental. Este cuerpo de agua localizado en la parte noreste de la isla de Puerto Rico es

considerado como el único río prístino de la isla (Ginés Sánchez [n.d.]). En gran medida esto se debe a que su cabecera, que transcurre a través de los territorios protegidos del Bosque Nacional El Yunque, está protegida dentro del Sistema de Bosques Nacionales de los Estados Unidos de América y tiene la designación de Río Silvestre y Pintoresco de los Estados Unidos. Sin embargo, esta designación conferida en virtud de Ley los Ríos Silvestres y Pintorescos Nacionales del 1968, no aplica a la parte baja de su cuenca hidrográfica y su desembocadura permanece desprotegida y es a su vez compartida por varios constituyentes, entre ellos, un hotel de lujo y varias comunidades marginadas. El contraste no podría ser más brusco: por un lado, el hotel se beneficia del río que le sirve como un atractivo turístico con su campo de golf, alterando así la vegetación ribereña y el curso del río aguas abajo. Por otro lado, las comunidades río abajo carecen de este tipo de disfrute del recurso y de las posibles oportunidades económicas que ofrece debido a que en la ribera de los ríos del tramo que transcurre por el hotel no hay establecida una servidumbre de uso público (31 L.P.R.A. sec. 1712). Las comunidades sufren de inundaciones severas y de altos niveles de erosión durante eventos de lluvias; todo esto agravado por los tipos de uso que se le da al terreno aguas arriba (por ejemplo, el campo de golf en el área de la ribera del río en lugar de alguna actividad eco amigable que aporte a conservar la naturaleza a lo largo de ésta, ayudando así a evitar la erosión) (S. Ward, comunicación personal 10 de noviembre de 2010). La justicia ambiental, aplicada abarcadoramente, examina la distribución de derechos, afirmando que ningún grupo en particular debe cargar con el peso de las consecuencias extremadamente negativas de las actividades industriales y comerciales, como por ejemplo, la erosión de los cuerpos de agua, contaminación ambiental general, inundaciones urbanas por impermeabilización del terreno y transformación o modificación del medio ambiente natural. Este documento

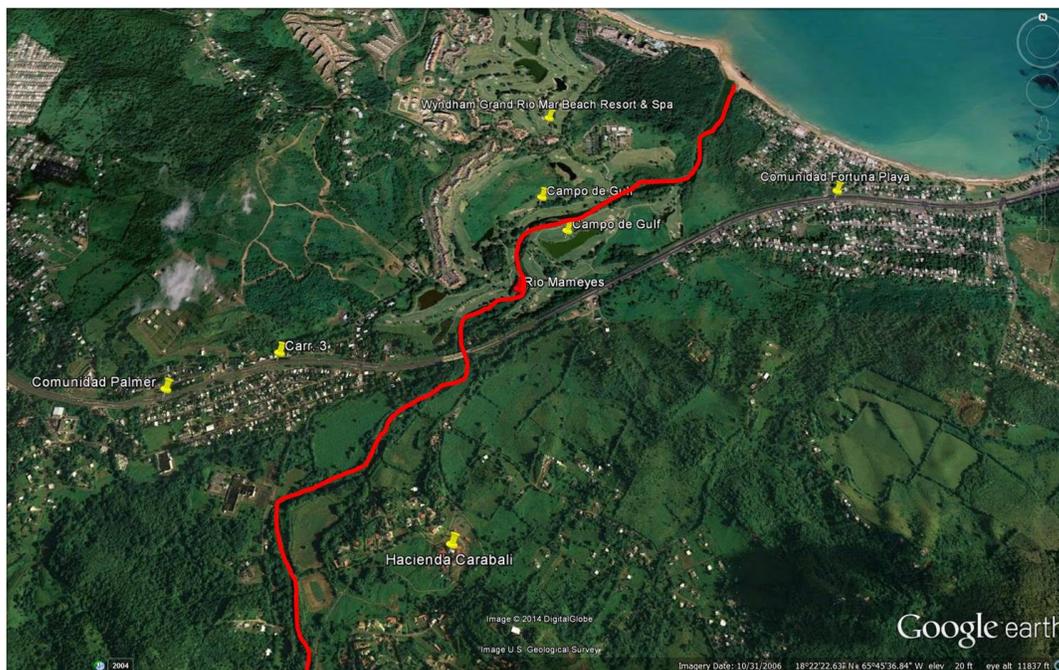
discute el caso del río Mameyes desde el marco de la justicia ambiental de manera que se promueva el mejoramiento del manejo del recurso así como de la calidad de vida de las personas más vulnerables.

TRASFONDO DE LOS CONSTITUYENTES O CINCO GRUPOS DE INTERÉS INVOLUCRADOS EN EL CASO DEL RÍO MAMEYES

La cuenca hidrográfica del río Mameyes se extiende desde su cabecera en la cima de la montaña del Bosque Nacional El Yunque (El Yunque), 12.1 kilómetros (7.5 millas) hasta el Océano Atlántico, pasando por el Barrio Palmer (González Cabán y Loomis 1999). La parte urbanizada de la cuenca se encuentra al norte de la Carretera PR 3, en el municipio de Río Grande, donde se ubica la comunidad de Palmer y el Río Mar Beach Resort. Para el 2004, el número estimado de personas ocupando esta cuenca era de 4,979 (Departamento de Recursos Naturales y Ambientales [n.d.]). Por otra parte, la comunidad de Fortuna Playa está situada en las llanuras inundables del río Mameyes (Fig. 1). La cuenca del río Mameyes es considerada una cuenca rural y esto en gran parte como resultado de la designación federal que posee El Yunque. Ha sido esta designación la que ha ayudado a evitar la presencia de asentamientos residenciales o urbanos en las cabeceras del río.

La parte de la cuenca que no está incluida en esa designación forestal federal de El Yunque es ocupada y compartida por diferentes constituyente, lo que implica diferentes usos de terrenos en esta área hacia la desembocadura del río. Entre estos podemos mencionar el Westin Río Mar Beach Resort, uno de los cinco hoteles principales en el municipio de Río Grande y también uno de los hoteles de Puerto Rico con la mayor área con acceso directo al mar. Esta propiedad cubre aproximadamente 202 hectáreas de tierra frente al mar en la desembocadura del río Mameyes (Departamento

FIGURA 1. El río Mameyes – región costera del río (línea roja) y sus constituyentes o grupos de interés involucrados en el caso del río Mameyes (Google Earth, 2006).



de Recursos Naturales y Ambientales [n.d.]). El Westin Río Mar Beach Resort tiene diseñado uno de sus dos campos de golf a lo largo de 6.35 km (3.95 mi) del río Mameyes. Este tramo, que transcurre a través del hotel y su campo de golf, carece de su vegetación natural ribereña. La barrera visual y psicológica que la presencia de este hotel representa y la ocupación de gran parte de las orillas del río por el campo de golf, impide el uso recreativo de este tramo del río por los residentes locales y por el público en general.

Además del hotel, aguas arriba en la cuenca se encuentra la Hacienda Carabalí, un parque privado que ofrece actividades recreativas tales como paseos a caballo, ciclismo de montaña, *four tracks*, canoas, caminatas (*hiking*) y otras actividades. Esta propiedad tiene 243 ha en la falda de El Yunque a lo largo del río Mameyes. Según su página web (Carabalí Rainforest Park 2014), la Hacienda Carabalí es un negocio que ha sido manejado por una

familia local desde 1974. Las actividades llevadas a cabo por el hotel y por la Hacienda Carabalí contrastan grandemente con las actividades de las comunidades circundantes. La comunidad de Fortuna Playa se encuentra en los barrios Mameyes I y Mata de Plátano en el municipio de Luquillo, colindando con el municipio de Río Grande y está situada en la llanura de inundación del río Mameyes. Según el Censo del año 2010, esta comunidad tenía una población de 1,690 habitantes y 888 casas en un área de 77.7 ha (0.30 mi²). La comunidad de Palmer se encuentra entre los barrios Mameyes II y Zarzal, en el municipio de Río Grande. Su extensión territorial es de aproximadamente de 44.0 ha (0.17 mi²). Para el Censo del 2010, esta comunidad tenía 1,032 habitantes y 433 viviendas (US Census Bureau 2010). La comunidad de Palmer pertenece también al territorio que comprende la cuenca del río Mameyes, ubicada en las orillas al oeste del río. Un asunto notable es el hecho de que las actividades económicas de estas

comunidades se ven limitadas en comparación con el potencial turístico de la región. Al visitar la comunidad de Fortuna Playa, se pudo observar que muchos hoteles del área estaban cerrados y los pocos que permanecían abiertos parecen, por las condiciones físicas del lugar, no ser capaces de mantenerse a sí mismos. Según personas de la comunidad y miembros de Asociación de Acampadores de Puerto Rico, Inc. (ADAPRI), en conversaciones informales nos mencionaron que las prácticas de pesca y los negocios locales son comunes en ambas comunidades, sin embargo, otras actividades relacionadas con el turismo, como paseos en kayak, en bicicletas o actividades de acampar al aire libre, son escasas.

Además de entender las amenazas que representan los proyectos de construcción en los alrededores del río Mameyes que van en contra de su conservación (Ward 2012), y de las prácticas de campo de golf en el hotel, se reconoce el riesgo de inundaciones bajo los cuales se encuentra la comunidad de Fortuna Playa (ADAPRI 2010). Esto además se pudo observar en una visita a la comunidad al ver las casas construidas sobre pequeños pilares resistentes y preparados para procesos de inundaciones. Un reclamo de justicia ambiental puede ser visto desde la perspectiva de las comunidades. Según conversaciones informales con miembros de las comunidades y de ADAPRI, la principal preocupación de la comunidad es el riesgo de inundaciones en las que viven debido a la proximidad al río y a los niveles altos de erosión durante episodios de lluvia. Esto, según nos comentó S. Ward en una comunicación personal el 10 de noviembre de 2010, se ve agravado por los usos del río que no ayudan a conservar su estado natural (por ejemplo, el campo de golf). Basado en lo antes mencionado, pudiéramos decir que se ve una división entre los que se benefician de la explotación de los recursos, como es el caso de La Hacienda Carabalí y el Hotel Río Mar Beach Resort, que utilizan el río para su beneficio

(kayak, campo de golf, entre otras actividades) versus los que reciben las consecuencias de esos usos, como es el caso de las comunidades de Fortuna Playa y Palmer y cuyos usos, desde el punto de vista turísticos, son escasos, como mencionó ADAPRI en comunicaciones informales.

DISCUSIÓN SOBRE ASPECTOS LEGALES RELACIONADOS A LA PROPIEDAD PÚBLICA

En Puerto Rico, la Constitución del Estado Libre Asociado presenta la base del derecho ambiental en su Art. VI Sec. 19, que establece lo siguiente: “Será la política pública del Estado Libre Asociado la más eficaz conservación de sus recursos naturales, así como el mayor desarrollo y aprovechamiento de los mismos para el beneficio general de la comunidad.” En el 1970 se crea la primera pieza legislativa que se adopta para atender los asuntos relacionados a la administración del medio ambiente de una manera integral por medio de la Ley Núm. 9 del 18 de junio de 1970 conocida como ‘Ley sobre Política Pública Ambiental’. Esta se deroga y sustituye con una nueva de igual título, Ley Número 416 del 22 de septiembre de 2004. Según el Artículo 2, los fines de esta ley son: “establecer una política pública que estimule una deseable y conveniente armonía entre el hombre y su medio ambiente; fomentar los esfuerzos que impedirían o eliminarían daños al medio ambiente y la biosfera y estimular la salud y el bienestar del hombre; enriquecer la comprensión de los sistemas ecológicos y fuentes naturales importantes para Puerto Rico”. Con esta ley que se incorporan los códigos de conducta social o ética que debe seguir la sociedad y el gobierno surgiendo así dos principios de carácter ético legal. En el Artículo 3 de esta ley, entre otras cosas, se reconoce el “impacto de la actividad humana en las interrelaciones de todos los componentes del medio ambiente natural” además se reconoce el derecho de toda persona a gozar de un medio

ambiente saludable y que es responsabilidad de toda persona el contribuir a la conservación del medio ambiente. De igual modo, reconoce la importancia y relación entre los factores sociales, económicos y ambientales y se enfoca en promover un desarrollo sustentable basado en la protección efectiva del medio ambiente y los recursos naturales, del uso prudente y eficiente de estos para el beneficio de la ciudadanía y el progreso social, reconociendo las necesidades de todos, dándole importancia al crecimiento económico y a los empleos.

Basado en lo antes mencionado, en la actualidad, mediante leyes y reglamentos a nivel estatal se han establecido que todas las corrientes de agua (*waterways*) son recursos no patrimoniales. Así mismo, varios tribunales estatales mediante la interpretación de la ley han establecido el acceso del público a las aguas, denominándolo como “servidumbre”, estableciendo también, por ejemplo, que “la capacidad de los cursos de agua para sostener fines recreativos determina su disponibilidad para uso recreativo por parte del público” (NORS 2011). También, a nivel estatal en Puerto Rico, es la Ley de Aguas del 1903 (L.P.R.A. § 601-642) según enmendada, la que definió la propiedad de dominio público y privado en cuanto a los cuerpos de agua concierne (según definidos éstos mediante la misma ley). Es esta ley la que define, en el caso de ser un dominio privado, que “las servidumbres de uso público en interés general... como una zona de tres (3) metros en la extensión de las márgenes de la ribera...”. En el artículo del Código Civil Puerto Rico 341 Aguas de Dominio Público (31 L.P.R.A. sec. 1311) se establece que “... los ríos y sus cauces naturales... arroyos que corran por sus cauces naturales y estos mismos cauces...” son de dominio público (no patrimoniales). Además de esto, es la Ley Para la Conservación, el Desarrollo y uso de los Recursos de Agua de Puerto Rico (Ley Núm. 136 de 3 de junio de 1976, según enmendada (12 L.P.R.A.

§ §1501-1523) que establece (entre otras cosas) “...aprovechar las aguas y cuerpos de agua de P.R. con arreglo al interés público y al criterio de uso óptimo, beneficioso y razonable.... a éstos efectos... para lograr que su aprovechamiento sea compatible con las necesidades sociales y económicas del país, se declaran las aguas y cuerpos de agua del Pueblo de Puerto Rico.” Es mediante la ley y reglamentos que se regula “el uso, aprovechamiento y desarrollo de las aguas y cuerpos de agua. Se prohíbe construir, establecer u operar un sistema de toma de agua, ni usar, ni aprovechar las aguas y cuerpos de agua...” sin el permiso correspondiente por parte del Departamento de Recursos Naturales. Bajo esta ley se define como contaminación de aguas “alterar las propiedades naturales de un cuerpo de agua de forma que ocasione daños o sea perjudicial... de tal modo que interfiera con el disfrute de la vida o de la propiedad...”. (12 L.P.R.A §1503(f)).

Si se analiza el marco legal y la política pública ambiental de Puerto Rico, se puede concluir que el desarrollo económico debiera estar en armonía con el bienestar promoviendo la inclusión social y valorizando a su vez, el medio ambiente. Esto solo se hace posible cuando es reconocida la interrelación entre elementos sociales, económicos y ambientales, además de trabajar para mantener un equilibrio entre éstos. En el caso del estudio del río Mameyes se puede observar una disparidad evidente entre los usos que se dan a la zona por los diferentes constituyentes y la falta de acceso que las comunidades ribereñas de Palmer y Fortuna Playa tienen a este recurso. Esto va en contra de la Ley Núm. 416 de Política Pública Ambiental, Ley de Aguas de 1903 y el Código Civil Puerto Rico 341 que reconoce el derecho de toda persona a gozar de un medio ambiente saludable, define los cuerpos de agua como uno de dominio público y establece que los ríos y sus cauces naturales entre otros, son de dominio público. En este caso, solo las personas que visitan el

hotel y la Hacienda Carabalí tienen acceso al tramo del río que se encuentra en su área, limitando así el uso del río a las comunidades aledañas, como es el caso de Fortuna Playa y Palmer.

Así mismo, se puede mencionar que la Doctrina de la Confianza Pública (*Public Trust Doctrine*) entra en la controversia ya que en las zonas del hotel y de la Hacienda se dan ciertos usos y se llevan a cabo actividades privadas (Bento 2010). El principio de esta doctrina se basa en que algunos recursos deberán ser conservados para uso público y que el gobierno tendrá la obligación de mantener esos recursos para un uso público razonable. La doctrina ha sido elogiada por la comunidad ambientalista como una base legal o como fundamento jurídico prometedor a través del cual las personas, en carácter de individuos, pueden mantener un pleito o una demanda con el fin de proteger la degradación de los recursos naturales y la destrucción innecesaria (Bento 2010).

Sin embargo, en contraste con lo que presenta la Doctrina de la Confianza Pública con respecto a que el gobierno tiene la obligación de conservar el recurso para el público, el economista Ronald Coase en su artículo titulado *The Problem of Social Cost* (1960), afirma que los economistas se equivocan al “considerar el gobierno como una fuerza correctiva de la falla de mercado que no tiene costos...” Coase plantea que,

“En la medida en que los costos de transacción son bajos o inexistentes, y que los derechos de propiedad establecidos en las resoluciones judiciales no permiten una solución económica eficiente, el resultado será la reasignación de estos derechos a los que los valoran más, incluso si los tribunales fallan en su contra. Esta proposición se conoce como el Teorema de Coase”.

Coase menciona en su artículo que el precio de ejercer un derecho siempre será lo que la otra parte involucrada pierde como consecuencia del ejercicio de ese derecho. Él utiliza los ríos como un ejemplo, y lo enmarca dentro del derecho de una persona a utilizar el río, por ejemplo, para el riego de cultivos y el pago de un precio justo para la persona que tiene los derechos de propiedad de esa área, para que de esta manera el que más valora esos recursos pueda tener un mayor control sobre esos derechos. Si las partes no se ponen de acuerdo, Coase establece un camino a través del cual los tribunales o agencias del gobierno pueden determinar cómo un activo en particular será utilizado, o en este caso, cómo un bien ambiental se utilizará en la situación en la que una parte gana más el otro (Boudreaux 2011). Sin embargo, la disparidad de recursos económicos entre los mismos constituyentes del río Mameyes vicia de antemano el acceso justo y equiparado a los propios tribunales.

¿QUÉ CONCEPTOS ECONÓMICOS MEJOR EXPLICAN EL CASO DEL RÍO MAMEYES?

A pesar de que existe una diferencia económica sustancial entre los diferentes constituyentes del río Mameyes, nada es más socialmente negativo que la exclusión del aprovechamiento equitativo de los recursos naturales. “Exclusión” (*Excludability*), “es un principio legal que permite a un propietario evitar que otros utilicen sus activos. Un recurso excluible es aquel cuya propiedad le permite al dueño usarlo al mismo tiempo que les niega a otros el privilegio” (Daly y Farley 2004). Tiene que haber alguna institución o tecnología para hacer un bien o servicio excluible mediante el establecimiento de su propiedad. En ausencia de una institución que regule la propiedad, los recursos no son excluibles, como lo expone Harding en su artículo *Tragedy of the Commons* (1968). En nuestro caso de estudio, la tierra es un recurso de exclusión. Los terrenos que

son propiedad del hotel Río Mar excluyen a otras partes en cuanto a poder hacer uso de ellos. Sin embargo, las riberas del río y la zona de protección de tres metros a lo largo del río están definidas legalmente como propiedad común (Código Civil de 1930 de Puerto Rico). La orilla del río y la zona de amortiguamiento han sido prácticamente privatizados por la presencia de este hotel.

El otro concepto económico que explica el caso del río Mameyes es el de *Rivalness*. *Rivalness* se define como “una característica inherente de ciertos recursos mediante la cual se establece que el consumo o uso por una persona reduce la cantidad disponible para todos los demás. Un recurso es un rival, si su uso por una persona impide su uso por otra persona” (Daly y Farley 2004). En el caso del río Mameyes, con una visita se puede observar que el agua del río se vuelve turbia además de la falta de vegetación en la ribera del río, esto después de su paso por la Hacienda Carabalí y el Hotel Río Mar debido en parte a la erosión del río por su utilización como área de actividades para equinos y como campo de golf; por ende se podría decir que la calidad del agua se afecta. En este sentido, a las comunidades se les niega el disfrute de la calidad y cantidad de agua disponible para el hotel y para la Hacienda Carabalí. En este escenario, el caso de río Mameyes se puede describir como recurso excluible y rival, al considerar las limitaciones de las que sufren las comunidades locales para acceder a las riberas de los ríos y en cuanto a la calidad del agua que están siendo degradadas por las actividades aguas arriba.

ÁREAS DE CONSERVACIÓN DEL RÍO MAMEYES

Para identificar áreas naturales como posibles lugares para centrar los esfuerzos de conservación del río Mameyes, llevamos a cabo un análisis con un Sistema de Información Geográfica (SIG). Esto se hizo con la idea

de localizar los terrenos importantes para la protección de las riberas del río Mameyes. Este análisis constituye un ejercicio de análisis preliminar que necesita incorporar el insumo de los residentes locales sobre las áreas para conservar, tomando en consideración las necesidades socioeconómicas de las comunidades. En este análisis se proponen dos posibles modelos como propuesta para la conservación del río Mameyes: Áreas con Prioridad de Conservación (APC) y Áreas Esenciales para el río Mameyes.

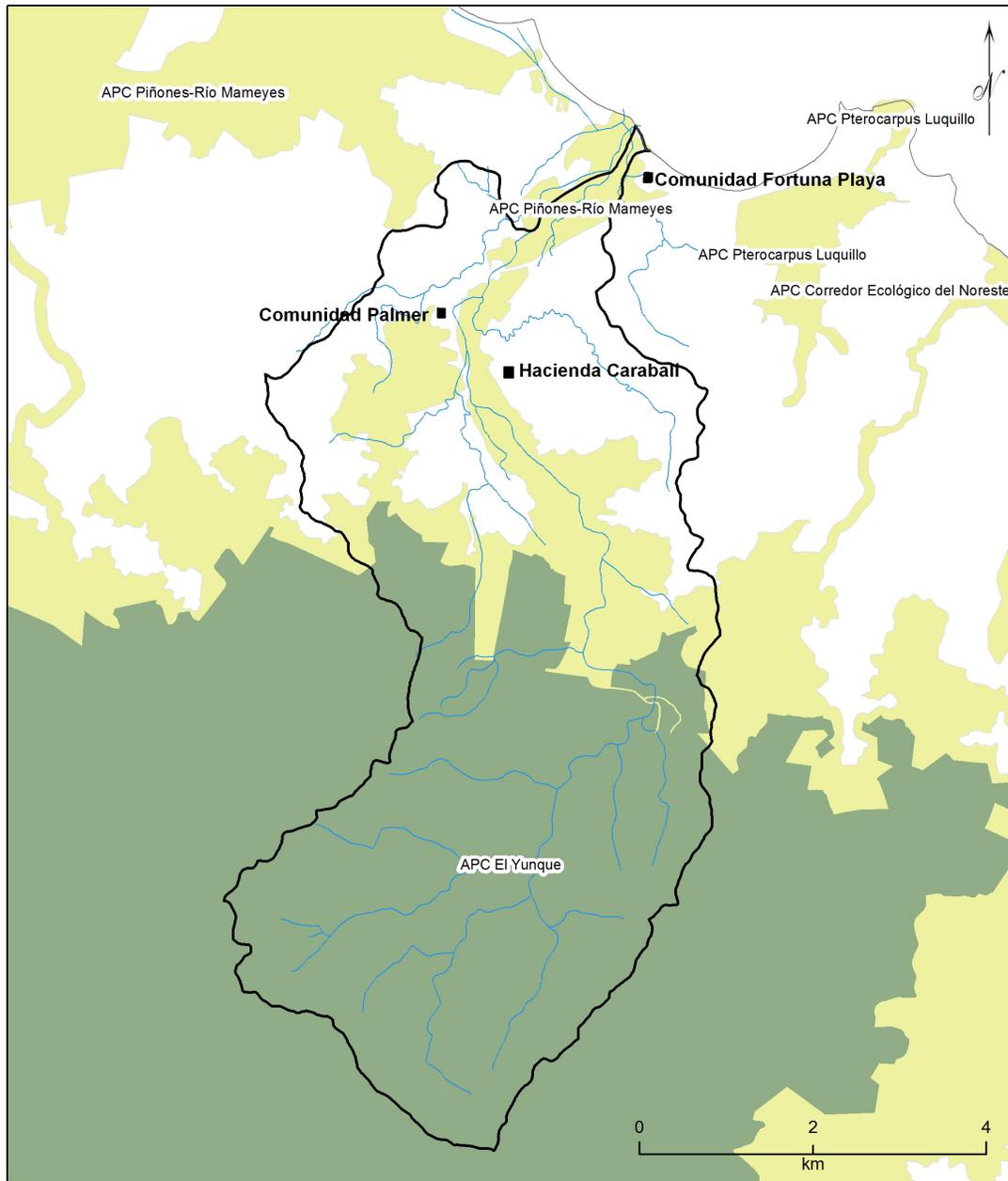
Áreas con Prioridad de Conservación

El primer modelo propuesto para la conservación del río Mameyes es utilizar áreas ya identificadas por el Programa de Patrimonio Natural del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA). Este programa, identificó dos APCs en los terrenos que comprenden la cuenca del río Mameyes y áreas limítrofes (Fig. 2) (García et al. 2005). Estas áreas son delimitadas mediante la identificación de terrenos de alto valor natural y la presencia de especies de flora y fauna en estado crítico, entre otros factores. En la cuenca del río Mameyes, la APC Piñones-río Mameyes, y la APC El Yunque delimitan los terrenos óptimos para el establecimiento de un área natural protegida, según el DRNA. Excluyendo los terrenos bajo la designación de Bosque Nacional de El Yunque, el área total con prioridad de conservación del río Mameyes es 3110 ha (Fig. 3). Esta área constituye una de las propuestas para un área de conservación en el río Mameyes.

Áreas Esenciales del río Mameyes

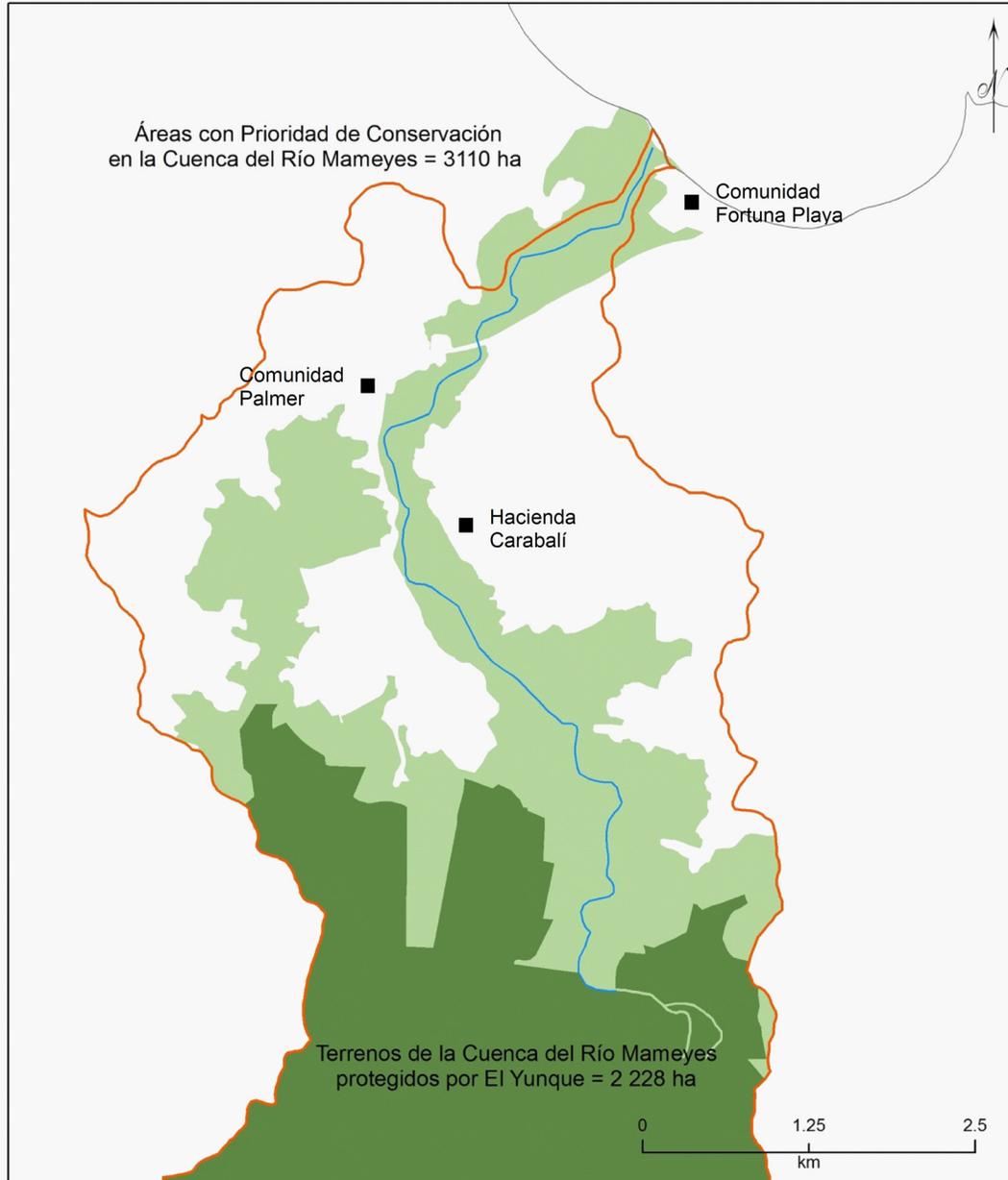
En cuanto al segundo modelo propuesto, se identificaron áreas esenciales en el río Mameyes dentro de las Áreas con Prioridad de Conservación del DRNA. De este modo se identificaron áreas que coinciden con criterios geográficos cuya conservación promovería la

FIGURA 2. Áreas con prioridad de conservación de la cuenca del río Mameyes según el Patrimonio Natural del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales.



Conservación de la Cuenca del Río Mameyes

-  Cuenca del Río Mameyes
-  Bosque Nacional El Yunque
-  Areas con Prioridad de Conservación (APC) del DRNA

FIGURA 3. Área total con prioridad de conservación del río Mameyes.

Conservación de la Cuenca del Río Mameyes

- Cuenca del Río Mameyes
- Bosque Nacional El Yunque
- Áreas con Prioridad de Conservación (APC) del DRNA

protección de la calidad de las aguas del río Mameyes. Los criterios para la identificación de estas áreas fueron los siguientes:

1. que esté dentro de una zona de amortiguamiento de 50 metros del río – zona en vegetación ribereña con el fin de atrapar sedimentos y nutrientes solubles, promover la estabilidad del banco, mejorar el hábitat acuático y facilitar la continuidad del hábitat de especies de fauna (Haycock et al. 1997);
2. que esté en zona inundable - zona vulnerable a por lo menos una inundación de categoría mayor dentro de un período de 100 años. Al proteger la zona inundable se minimiza la posibilidad de que el agua al retraerse luego de una inundación acarree contaminantes sólidos o líquidos (FEMA 2014). Este modelo de conservación debe tomar en consideración a las comunidades Fortuna Playa y Palmer de manera que estas puedan permanecer en sus áreas sin afectar la calidad de agua. Este modelo debe también limitar futuros desarrollos de vivienda que puedan afectar el río;
3. que sea humedal - ecosistema estrictamente protegido por regulaciones estatales y federales ya que actúan como filtros de las escorrentías que pasan por su territorio (Ley de Agua Limpia de los EUA del 1972, Ley Núm. 314 del año 1998, ley para declarar la política pública sobre los humedales en Puerto Rico).

En este segundo modelo se pueden seleccionar tanto, áreas en donde coincidan dos criterios o áreas en donde coincidan los tres criterios. Esto representaría dos posibles escenarios dentro del modelo de áreas esenciales para la conservación del río Mameyes. Las áreas identificadas (extensión de 209 ha donde coinciden dos criterios y 48 ha donde coinciden los tres) no solapan con las comunidades, pero abarcan terrenos del campo de golf del Hotel

Río Mar y la Hacienda Carabalí (Fig. 4). Sin embargo, este análisis no contempla la tenencia de la tierra de las áreas esenciales identificadas. Entendemos que es necesario considerar las delimitaciones de los títulos de los terrenos para entender si los terrenos identificados son públicos o privados. De este modo, también se pueden identificar los dueños de los terrenos para que sean incorporados, desde el inicio, en el diseño de las estrategias de conservación de las áreas esenciales del río Mameyes. Asimismo, en aras de incorporar la conservación de los ecosistemas marinos, entendemos necesario identificar y diagnosticar posibles fuentes de contaminación en la cuenca del río Mameyes para dirigir esfuerzos de manejo de eliminación de contaminantes que desemboquen al mar con el propósito de limitar la contaminación que llega a los ecosistemas en la desembocadura, playas y mar.

CONCLUSIONES

Uno de los pilares del desarrollo sostenible se cimienta en la importancia social de mantener un balance entre el ambiente y el desarrollo económico. Entendemos que, para lograr la conservación del río Mameyes, es necesario que el desarrollo futuro se dé alrededor de visiones entre los constituyentes con el objetivo de proteger el recurso natural. Es decir, el diseño de una estrategia de protección debe hacerse contando con la inclusión de todos los grupos de interés tales como: la Hacienda Carabalí, el Bosque Nacional El Yunque, El Westin Río Mar Beach Hotel y las comunidades Fortuna Playa y Palmer, además de todos los propietarios que se encuentran a lo largo de la cuenca del río. Esto debe hacerse antes de designar cualquier tipo de área a conservación u otros usos, ya que el producto de la participación dinámica puede utilizarse para promover algún proyecto de conservación o desarrollo como designar zonas de conservación o iniciativas de reforestación en beneficio

FIGURA 4. Áreas esenciales de protección de la cuenca del río Mameyes.



-  Cuenca del Río Mameyes
-  Unión de dos criterios esenciales para la conservación
-  Unión de tres criterios esenciales para la conservación
-  Bosque Nacional El Yunque
-  Áreas con Prioridad de Conservación (APC) del DRNA

de todos. Es importante dirigir recursos para encontrar alternativas para el establecimiento de áreas protegidas, particularmente cuando el Estado no tiene los recursos económicos para adquirir tierras con el fin de establecer reservas naturales o manejar áreas designadas como protegidas. La mayoría de las tierras desprotegidas de la cuenca del río Mameyes han sido identificadas como APC por la División de Patrimonio Natural del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (Fig. 2), y también están propuestos como suelos que deben ser protegidos en el proyecto de Plan de uso de terrenos para Puerto Rico del 2006. La identificación de áreas que deben ser protegidas viene del mandato de la Ley # 159 Herencia Natural de septiembre de 1988. Uno de los APC identificados en la cuenca del río Mameyes comprende la región norte de El Yunque, la cual incluye un corredor a lo largo del río, así como de sus tributarios. La otra APC, el área de Piñones-río Mameyes, incluye mangles en el delta y una zona de amortiguamiento de aproximadamente 50 metros a través del río. Una de nuestras recomendaciones es utilizar las regiones APC ya identificadas como la base para desarrollar proyectos de conservación y que estas zonas pasen de ser áreas con prioridad de conservación a áreas protegidas. Esto requerirá describir las características, áreas y usos que necesitan ser protegidas para preservar a largo plazo la calidad del agua del río del efecto de la expansión urbana. De esta forma el conservacionismo asistido por los miembros de la comunidad local puede establecer un plan gradual para incorporar parcelas para las áreas de manejo y conservación. El uso de las herramientas de modelaje aplicadas a las áreas APC ya identificadas puede ayudar a estudiar diferentes escenarios de conservación. Sin embargo, el modelo necesita incorporar un registro espacial de las tierras que son importantes para la conservación de acuerdo

con los residentes locales. También, el análisis de los mapas locales con los miembros de la comunidad puede ser una herramienta efectiva para recopilar el insumo de los diferentes constituyentes. Estos mapas pueden ser incorporados a un Sistema de Información Geográfico junto con información ya existente sobre las variables ambientales y sociales del río Mameyes para identificar áreas ideales tanto de conservación como de reforestación, así como también planes de manejo comunitario o el establecimiento de una reserva natural. Estas herramientas antes mencionadas, a través del Programa de Ríos Patrimoniales, Ríos de Alto Valor Natural y Ríos Recreacionales de Puerto Rico creado mediante la Ley Núm. 180 del año 2014, pueden contribuir al desarrollo de un proyecto de protección de las áreas desprotegidas del río Mameyes. Por último, de la discusión, análisis, estudio y debate de los factores que inciden sobre el contraste entre los constituyentes y partes de interés en el río Mameyes, la conservación de este recurso puede promover la justicia social creando un balance entre la conservación, el desarrollo económico y el uso sustentable de este importante recurso. Es decir, por medio de un balance, entendemos que se crearía un ambiente común de la utilización de todos los recursos del río Mameyes por todos los sectores de una forma unitaria en donde la conservación del recurso dictamine las posibilidades económicas en la región.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a la Asociación de Acampadores de Puerto Rico, al Sr. Luis Villanueva Cubero, al Dr. Alonso Ramírez, la Dra. Pilar Angulo y al Dr. Joseph Vogel por su colaboración en este trabajo. Este proyecto cuenta con el apoyo del proyecto *Integrative Graduate Education and Traineeship* (IGERT, por sus siglas en inglés. Financiado por la Fundación Nacional de Ciencias – NSF #0801577).

LITERATURA CITADA

- ADAPRI. 2010. Asociación de Acampadores de Puerto Rico, Inc. ¿Qué hacemos?, ¿Quiénes somos? www.adapri.org/index.html.
- Ali, A. 2001. A conceptual framework for environmental justice based on shared but differentiated responsibilities. CSERGE Working Paper EDM No. 01-02.
- Bento, L. 2010. Searching for intergenerational green solutions: The relevance of the public trust doctrine to environmental preservation. *Common Law Review* 11: 7.
- Boudreaux D.J. 2011. The rights stuff. www.pittsburghlive.com/x/pittsburghtrib/opinion/s_717683.html
- Carabalí Rainforest Park. 2014. Our history: a family story. www.carabalinrainforestpark.com/history.php.
- Chavis, B. y C. Lee. 1987. Toxic wastes and race in the United States: a national report on the racial and socio-economic characteristics of communities with hazardous waste sites. Commission for Racial Justice. United Church of Christ.
- Coase, R.H. 1960. The problem of social cost. Páginas 87–137. *Classic Papers in Natural Resource Economics*. Palgrave Macmillan UK.
- Código Civil de P.R. 1930. Art. 341 Aguas de dominio público (31 L.P.R.A. sec. 1311).
- Constitución del Estado Libre Asociado de Puerto Rico. Art. VI Sec. 19.
- Código Civil de P.R. 1930. Art. 489 Riberas de los ríos (31 L.P.R.A. sec. 1712).
- Daly, H.E., y J. Farley. 2004. The nature of resources and the resources of nature. Páginas 73–74. *Ecological Economics: Principles and Applications*. Island Press.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, División de Monitoreo del Plan de Aguas. [n.d.]. Cuenca del río Mameyes. www.drna.gobierno.pr
- Ernstson, H. 2013. The social production of ecosystem services: a framework for studying environmental justice and ecological complexity in urbanized landscapes. *Landscape and Urban Planning* 109: 7–17.
- FEMA. 2014. Federal Emergency Management Agency Portal. <http://msc.fema.gov/portal>.
- García, M.A., J.A. Cruz Burgos, E.M. Ventosa Febles, y R. López Ortiz. 2005. Puerto Rico comprehensive wildlife conservation strategy. Puerto Rico Department of Natural and Environmental Resources. San Juan, Puerto Rico.
- Ginés Sánchez, C. [n.d.]. La protección del río Mameyes.
- González Cabán, A., y J. Loomis. 1999. Measuring the economic benefit of maintaining ecological integrity of the río Mameyes in Puerto Rico (USDA Forest Service Research Paper No. PSW-RP-240). Albany, California: Pacific Southwest Research Station, U.S. Department of Agriculture.
- Google Earth. 2006. Mapa del área del río Mameyes y sus constituyentes. www.earth.google.com
- Gudorf, C.E., y J.E. Huchingson. 2003. *Boundaries: a casebook in environmental ethics*. Georgetown University Press, Washington, D.C., USA.
- Gudynas, E. 2010. La senda biocéntrica: valores intrínsecos, derechos de la naturaleza y justicia ecológica. *Tabula Rasa* 13:45-71.
- Hardin, G. 1968. The tragedy of the commons. *Science* 162:1243-1248.
- Haycock, N.E., T.P. Burt, K.W.T. Goulding, y G. Pinay. 1997. Buffer zones: their processes and potential in water protection. International conference on buffer zones. Quest Environmental.

- Ley de Aguas del 1903, según enmendada (L.P.R.A. § 601-642).
- Ley de Agua Limpia de los EUA - Clean Water Act of 1972, 33 U.S.C. § 1251 et seq. (2002). <http://epw.senate.gov/water.pdf>.
- Ley Núm. 9 de 18 de junio de 1970, Ley sobre Política Pública Ambiental.
- Ley Núm. 136 de 3 de junio de 1976, según enmendada, Ley Para la Conservación, el Desarrollo y uso de los Recursos de Agua de Puerto Rico (12 L.P.R.A. § §1501-1523).
- Ley Núm. 150 de septiembre de 1998. Natural Heritage Program Act. Commonwealth of P. R.
- Ley Núm. 180 de 29 de octubre de 2014, Ley para Crear el Programa de Ríos Patrimoniales, Ríos de Alto Valor Natural y Ríos Recreacionales de Puerto Rico.
- Ley Núm. 314 de diciembre de 1998, Política Pública Sobre Humedales en PR, Ley de Tierra. Gobierno del Estado Libre Asociado de Puerto Rico.
- Ley Núm. 416 del 22 de septiembre de 2004, Ley sobre Política Pública Ambiental. Artículo 2 y 3.
- López Feliciano D. 1999. El Ambiente y las Leyes en Puerto Rico: lo que todos queremos saber. Publicaciones Paraíso. Rincón, Puerto Rico.
- National Organization for Rivers (NORS). 2011. Rivers and the Public Trust Doctrine: public ownership of rivers in the United States. www.nationalrivers.org/us-law-public.htm
- Public Trust Doctrine. <http://dictionary.law.com/Default.aspx?selected=1685>
- Puerto Rico Planning Board. 2006. Land use plan for Puerto Rico, regional profile-east region. Draft version.
- Ringquist E. 2003. Chapter 11: Environmental justice: normative concerns, empirical evidence, and government action. En: Norman Vig & Michael Kraft, Environmental policy.
- Schlosberg D. 2003. The justice of environmental justice: reconciling equity, recognition, and participation in a political movement. Páginas 77–106. En: Andrew Light and Avner deShalit, eds., Moral and political reasoning in environmental practice. Cambridge, MA: MIT Press. http://dschlosberg.com/Prof_David_Schlosberg/Publications_files/SchlosbergEJChapterinLight.PDF
- Schlosberg D. 2013. Theorising environmental justice: the expanding sphere of a discourse. *Environmental Politics* 22 No. 1: 37–55. www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09644016.2013.755387
- Taylor D.E. 2000. The rise of the environmental justice paradigm: injustice framing and the social construction of environmental discourses. *American Behavioral Scientist* 43: 508-580. www.sagepub.com/oswcondensed/study/articles/14/Taylor.pdf
- US Census Bureau. 2010. <http://factfinder2.census.gov/>
- US EPA [n.d.]. History of environmental justice. www.epa.gov/environmentaljustice/basics/ejbackground.html
- Ward S. 2012. Llamada para propuestas sobre la conservación de los recursos del Río Mameyes. www.educapr.org/profiles/blogs/llamada-para-propuestas-sobre-la-conservaci-n-de-los-recursos-del
- White House 1994. Executive Order 12898, Federal actions to address environmental justice in minority populations and low-income populations. *Federal Register* 59 No. 32.

THE GOVERNOR'S BEACH HOUSE IN *PLAYA EL CONVENTO*: A LOCAL ENVIRONMENTAL HISTORY TO CO-MANAGING THE NORTHEAST ECOLOGICAL CORRIDOR NATURAL RESERVE VALUES

*Johnny Lugo Vega*¹, *Luis Villanueva Cubero*², *Francisco J. Soto Santiago*² and *Paul Furumo*²

¹ Department of History, Graduate Program, Faculty of Humanities, University of Puerto Rico, Río Piedras, San Juan, PR 00936

² Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Puerto Rico, Río Piedras, San Juan, PR 00936

ABSTRACT

Puerto Rico has faced significant physical, economic, and social transformations since the 1940's. Different aspects of these transformations are related to the development model adopted by its government. During the 1940's, governmental policies in the tourism and housing sectors as applied to coastal areas followed the ideal of modernism, leading Puerto Rico to follow a continental model of industrialization and urban sprawl, characterized by a lack of best planning practices. For the last 50 years, Puerto Rico has arguably become a case study for a failed government and societal agenda, and has lacked a stable conservation policy for natural resources management. History and social sciences open an interdisciplinary approach by sharing the uncertainties of this reality. In this article we analyze two architectural projects proposed in 1950's and 1970's applying a local environmental history approach. Also, we assess how these historical and aesthetical elements increase the economic ecological values of the Northeast Ecological Corridor Nature Reserve. We studied primary sources from historical, conservation and architectonic literature to validate the project's existence by means of the architectural evolution of the Governor's Beach House.

Keywords: Puerto Rico, Fajardo, Northeast Ecological Corridor (NEC), Governor's Beach House, Environmental history.

RESUMEN

Puerto Rico ha enfrentado importantes transformaciones físicas, económicas y sociales desde la década de 1940. Los diferentes aspectos de estas transformaciones están relacionados con el modelo de desarrollo adoptado por su gobierno. Durante la década de 1940, las políticas gubernamentales en los sectores del turismo y la vivienda, aplicadas a las zonas costeras, siguieron el ideal del modernismo, llevando a Puerto Rico a derivar un modelo continental de industrialización y expansión urbana caracterizada por la falta de mejores prácticas de planificación. Durante los últimos 50 años, Puerto Rico se ha convertido en un caso estudio de una agenda fallida del gobierno y de la sociedad, careciendo de una política integral para la conservación y manejo de los recursos naturales. La historia y las ciencias sociales abren un enfoque interdisciplinario compartiendo las incertidumbres de esta

realidad. En este artículo analizamos dos proyectos arquitectónicos propuestos en 1950 y 1970 aplicando un enfoque de historia ambiental local. También evaluamos cómo estos elementos históricos y estéticos, aumentan los valores ecológicos de la Reserva Natural del Corredor Ecológico del Noreste. Estudiamos algunas fuentes primarias de la literatura histórica, conservacionista y arquitectónica para validar la existencia del proyecto por medio de la evolución arquitectónica de la casa de playa del Gobernador en Fajardo, Puerto Rico.

Palabras clave: Puerto Rico, Fajardo, corredor ecológico del noreste, casa de playa del Gobernador, historia ambiental.

INTRODUCTION

The Coalition for the Northeast Ecological Corridor was founded in 2005 by a variety of members, including citizens, experts, and organizations already dedicated to environmental protection, such as the Sierra Club. The main concern of the stakeholders involved was the irreversible loss of important and critical ecological systems by non-sustainable developments such as Dos Mares and San Miguel resort proposals and similar mega projects proposed for extensive parcels of lands within 1,200 hectares (2,965 acres) of high ecological value in Northeast Puerto Rico, which would later, in 2013, become the Northeast Ecological Corridor Nature Reserve (NECNR) (Guerrero Pérez 2010). The proposed mega-resorts follow in a long history of different versions of development in Northeast Puerto Rico. As early as the mid-1940s, a series of public work initiatives included large scale proposals for tourism-housing recreational projects. At the time, an alumnus of the famous American architect Frank Lloyd, Henry Klumb arrives in Puerto Rico. Klumb was a German immigrant that lived in Puerto Rico between 1940 and 1986 (Vivoni Farage 2005). First Klumb, then the Toro & Ferrer firm were called to propose a housing tourist complex near *El Convento* Beach. Neither of the projects was developed, but the designs of these proposed projects were close to today's "sustainable ecological ones."

Between 1900 and 1930's an important transformation occurred in and near of what today is the NECNR. First, the Fajardo Sugar Corporation, the third most powerful sugar cane producer in Puerto Rico since 1900, developed consistent monoculture commerce over a significant part of the northeast area of the island (Gayer et al. 1938, González Vélez 2000). Second, between World War II until the 1970's, the NECNR and surrounding lands were constantly abated by sugar corporate powers from large US corporations (Dietz 2002), while higher lands within the El Yunque National Forest (formerly Luquillo National Forest) were constrained by ecological studies such as H.T. Odum's research (Lugo 2004). Similar to the development/conservation paradox, ecology and capitalism adaptation projects remained as the primary landscape uses under the United States Forest Service (Hays 1959, Leuchtenburg 1963, Henderson and Woolner 2005, Heywood 1987). Third, the development paradigm of modern Puerto Rico, from 1940-1970, with its intense use of Portland cement, still constrains the coastal areas, especially those surrounding what are now reserves such as NECNR. Since then, NECNR coastal areas were threatened by mega development projects designed for those who can afford it, as long-term investments (Guerrero Pérez 2010). Today, we need to explore what type of model structures and land use will be ecological and socially sustainable, contributing to increase NECNR's historic values.

METHODOLOGY

To explore the historical values of the Governor's Beach House (GBH), we searched for primary and secondary sources of information in historic archives. The University of Puerto Rico in Río Piedras has an extensive collection at the library of architecture at the *Archivo de Arquitectura y Construcción de la Universidad de Puerto Rico* (AACUPR). The *Colección Puertorriqueña* at the José M. Lázaro Library at UPR-RP has a collection of newspapers in microfilm roll format from 1910, which include *El Mundo* Collection. Henry Klumb archives are identified as HKI 0170 and Toro y Ferrer's as TFA 0079. Some letters are used like codes such as the letter "P" for *Planos*, "F" for *Fotos* (e.g., HKI 0170 P002). Also, certain blueprints for planned updates to the GBH residing at the Sila M. Calderón Foundation Archives were obtained. A primary source regarding a project proposed for Vacía Talega, in Piñones (Municipality of Loíza) from Basora and Rodríguez in 1973 was also studied. Aerial photogrammetric photos from the US Navy and the United States Geological Survey (USGS) 1931 to 1950 were also used to spatially analyze the GBH, as well as USGS topography maps from 1942 to 2013. Cross referenced information from these primary sources validated and demonstrated the accuracy of the sources and contributed to strengthening secondary source information used in this article. Local environmental historiography already cited was used to apply the historical approach.

BETWEEN DEVELOPMENT AND LANDSCAPE: NECNR'S LOCAL HISTORY

(1840-1940)

To understand the actual situation of NECNR under the development/conservation dichotomy, we need to explore some aspects

of its historical background. Local history is related to social ideas, memories, and cultural expressions within human-environment interactions; it was considered as one of the fundamental trends in historiography in the 20th century. It is rooted in Italian micro-history from Giovanni Levi's ideas of intangible materialism to Carlo Gizburg's, as well as in the French Historiography School of *Annales* whose most important exponents are March Bloch, Lucien Febvre, and Emmanuel LeRoy Ladurie. In their perspective, local history must address and interpret the immediate social, cultural, and ecological interactions (Burke 1997). At this scale, these interpretations are also placed in the context of time (Scoones 1999:490).

For example, and as applied to the NECNR, the importance of the study of coastal forests in Puerto Rico is similar to all Caribbean islands since the 17th Century (Crosby 1973, Alleng 1998, Martinuzzi et al., 2007). Wetlands, mangroves, and open hided bays have played an important role in the social development and subsistence within the local history of the north and northeast area of Puerto Rico. These ecosystems have not only served as turtle gaming from which turtle meat became an important element of the pirate's diet it, but also helped fuel the Caribbean's piracy commerce since the 16th century, as we can see in the Piñones-Loíza area (Giusti Cordero 1994). Illegal commerce encompassed the subsistence ways of life of the rural zones of the island, based on exchanges of cattle hides and smoked dried meat, developed as the ultimate trade system of the Caribbean and rural societies (Andrews 1978, Sued Badillo 2001, Morales Carrión 2003).

The NECNR coastal and lowland areas in Fajardo, Puerto Rico from the 18th to the 20th century can be defined by the historical land use patterns similar in the post-colonial Caribbean (Picó 1981, Bergad 1983). The development

of a pre-industrial technology model by means of slavery-sugar cane production ensured plantation system units of human-land deployed interactions in Puerto Rico's lowlands and coastal areas until 1873 (Guisti 1994, Scarano 2008). Until the mid-20th century, changes in sugar demand around Caribbean markets gave way to increases in land area for sugar cane plantations, transforming the *trapiches* into *Centrales Azucareras* (Ramos Mattei 1988:20). In this particular case, the economic model between 1905 to the 1930's brought modern structures such as *Centrales*, born from the power of elite rich families ties between them since 1810, such as the Birds, Veve, Becerril, Baralt, Calzada, Cerra, Bas, Meléndez, Siaca, Matta, and Zalduondo, among others (González Vélez 2000).

From the combined economic and political power of US and PR family interests emerged The Fajardo Sugar Co, a special Creole/American model of sugar cane production that transformed social-economic relations in the Northeast part of Puerto Rico (González Vélez 2000:73-80). Sugar cane production transformed the social and ecological landscape between 1920 and 1935. Neither the great depression, nor natural events such as San Felipe and San Ciprián hurricanes in 1928 and 1932, respectively, affected Fajardo Sugar Co. production in relation to other sugar cane producers in Puerto Rico (González 2000:340-344, Schwartz 1992). The ecological effects of this sugar corporate capitalist model had registered a high footprint in the NECNR area, which had become mostly deforested as the rest of Puerto Rico (Domínguez Cristóbal 2000).

Between 1936 and 1938, The Puerto Rico Reconstruction Administration (PRRA) developed a series of plots for agroforestry farming, a novel concept from the old Subsistence Farms under the New Deal. In the Luquillo area, the PRRA had negotiated the acquisition of some land for

the experimentation of a sugar agroforestry system with Diego Zalduondo Veve, owner of sugar lands annexed to the Fajardo Sugar Company. In February 1937, the PRRA acquired the title of the estate *Rigores*, with a capacity of 900 cuerdas of a total of 1,048. Another section of the Zalduondo sugar system had been divided into forty ten-string farms for small and medium-sized farmers. The PRRA built on these type agroforestry models along with squatters or Quarries of *Arrimados*. For example, on October 11, 1937, a group of 50 families were added to the Zalduondo sugar system, which was highlighted by the media. A monthly lease fee of one dollar was only the repayment requirement through this initiative. (NARA 1937) The Civilian Conservation Corp (CCC), Camp *Sabana* supported the Zalduondo sugar system in reforestation projects. In addition, the CCC was responsible for the labor, for the construction of the houses of the parceleros, as well as of the houses of the quarters of lodging. The forest superintendent, E. W. Hadley, offered to distribute some land to 17 families of lodging in plots of three to five strings, inside the Luquillo National Forest. The camp staff, as well as settlers, parcels and households, received agricultural education services, also funded by the PRRA. The Zalduondo sugar agroforestry model was promoted even in the Caribbean and Latin American media (Monteagudo and Escámez 1939).

A new modernizing transformation from 1940 to late 1950's occurred under a populism-development discourse was leaded by Governor Luis Muñoz Marín (Rodríguez Vázquez 2002). The iconographic industrial modernization project that spearheaded such discourse or large-scale modernist reformation, with its accompanying massive public works and huge tourism complexes, became known as Operation Bootstrap (*Manos a la Obra*) (Santana Berman 1996). Portland cement became the urban and rural construction

material found in housing development from the mountains down to coastal beach and mangrove forests (Sepúlveda Rivera 1989, Del Cueto 2011). Further research in Puerto Rico's Industrial Development Corporation's (for now on, PRIDCO) files are needed, but there is a possible explanation for these modernizing tendencies, when we observe Luis Muñoz Marín's Popular Democratic Party (PPD) decisions over planning public works as a fight "against poverty". This discourse was integrated frequently with industrialization in times of military surplus values, after World War II, creating short-term facilities employments as an economic stabilization program (Santana Rabell 1984). Under the Operation Bootstrap project, Puerto Rico's agenda included an aggressive tourist propaganda, as the island was promoted as the best place for investors (Maldonado 1997).

Tourism: A Way of Industrialization Under a Modern Puerto Rico (1940-1970)

The idea of a modern and industrial development plan for Puerto Rico prominently included the tourist sector. Modern buildings and mega-development projects, such as the Caribe Hilton hotel are the island's first icons of modernity. Puerto Rico's government officially opened a tourism office in New York to maximize its campaign to promote industrial investment in the island (Silvestrini and Dolores Luque 1991). The Caribe Hilton project was commissioned by open competition while some of the most prominent architectural firms, both local and foreign, submitted their proposal including Henry Klumb & Toro as well as Ferrer & Torregrosa, the latter finally winning the competition (Vivoni Farage 2006). This model of industrialization was later aligned to large-scale tourism and petrochemical industrial development projects. Harbors and piers were constructed for a fast track urban development based on tourism and the industrialization that fostered it. In Peñuelas, the Commonwealth

Oil and Refinery Corporation (CORCO) petro-chemical refining complex followed a model that represented a continuous discourse of Muñoz Marín's modernism. In the 1970s the Rafael Hernández Colón's administration promoted again absentee capitalism, now derived from petrochemical fueling (Scarano 2008). A closer look at these coastal mega-tourism designs for development included the Loíza-Piñones coastal area. Basora & Rodríguez with Font & Pereira's Vacía Talega Development Plan (1973) proposed a modern condo model (Basora y Rodríguez and Font y Pereira 1973). Figure 1 shows an illustration of the proposal, which showcases the idea of PPD's development and construction designs for tourism recreational areas in north coast lines of Puerto Rico.

Governor's Beach House First Design: Henry Klumb's *Playa de La Luna* Complex (1958-68)

In the mid-1940s, a series of public work initiatives included large scale proposals for tourism-housing recreational projects. At the time, an alumnus of the famous American architect Frank Lloyd, Henry Klumb arrived in Puerto Rico. Klumb was a German immigrant residing in Puerto Rico between 1940 and 1986 (Vivoni Farage 2006), being present when PRIDCO was created in 1942. Between 1956 and 1958, Klumb was chosen to create a design near El Convento beach that would, integrate construction and landscape. He was influenced by the most idealistic green design models for living, from Ebenezer Howard to Le Corbusier (Historia y Sociedad 2004). PRIDCO, through an agreement with the Administration for Recreational Development, acquired a 111.2 ha. (275 acres) parcel near Las Paulinas beach, later divided into El Convento North and El Convento South (Roig Bachs 2001). USGS topography maps of 1942 and 1952 showed no structures at El Convento beach until 1962 (Fig. 2). Among other proponents, Klumb proposed

FIGURE 1. Basora y Rodríguez and Font y Pereira's Vacía Talega Alternative Development Plan. Source: Basora y Rodríguez and Font y Pereira, 1973.



to PRIDCO a project called *Playa de La Luna* (Fig. 3a, 3b). To develop a recreational plan, a Washington D.C. developer, Albert McCarthy, proposed a 100-room hotel along a residential housing beach side at *Playa de La Luna*, west of the *Agua Prietas* Lagoon, with units priced at up to \$30,000.00 each. Architect Henry Klumb was chosen for the design of the project (“Tourist boom moves into Puerto Rico’s Northeast Coast” 1958 (“Darán comienzo inmediato a desarrollo de balneario” 1961). Klumb’s projects would become an option model for balancing industrial-tropical design for many public works in Puerto Rico (for example, his original concept for the Caribe Hilton rejected air conditioning in lieu of natural cross-ventilation).

Klumb designed most of the buildings at the UPR-RP, along with others hotels

in Condado, churches, the Bayview residential complex in Cataño, and pharmaceutical plants in Las Piedras. Other Klumb projects include residential areas in Puerto Rico and the US Virgin Islands and a draw in the competition for the Caribe Hilton hotel bid in 1946 (Vivoni Farage 2006).

Ignoring prevailing pressures from local government to promote construction in concrete, Klumb’s *Playa de La Luna* development proposal conserved the ideal design to integrate nature with construction, as did Klumb’s designs for UPR-RP’s buildings (Figs. 4, 5). Klumb’s light wood cabin or cottage duplex units, with open windows, open terrace, and lifted foundations represents a more closely nature-human design model.

FIGURE 2. USGS maps showing structure evolution at El Convento beach, Fajardo, PR. Notice Klumb's signed plane of his 1958 project in place by 1962. Source: USGS, http://store.usgs.gov/b2c_usgs/usgs/maplocator/%28c-type=areaDetails&xcm=r3standardpitrex_prd&care=%24ROOT&lay-out=6_1_61_48&uiarea=2%29.do.

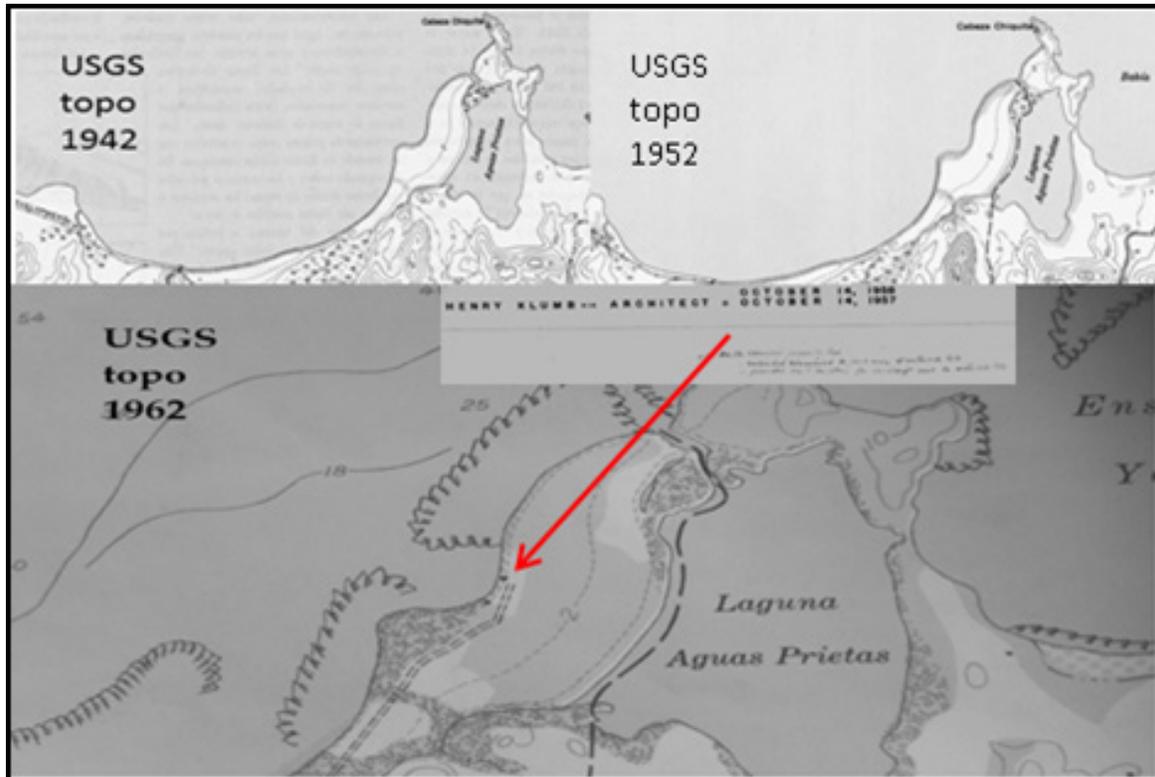
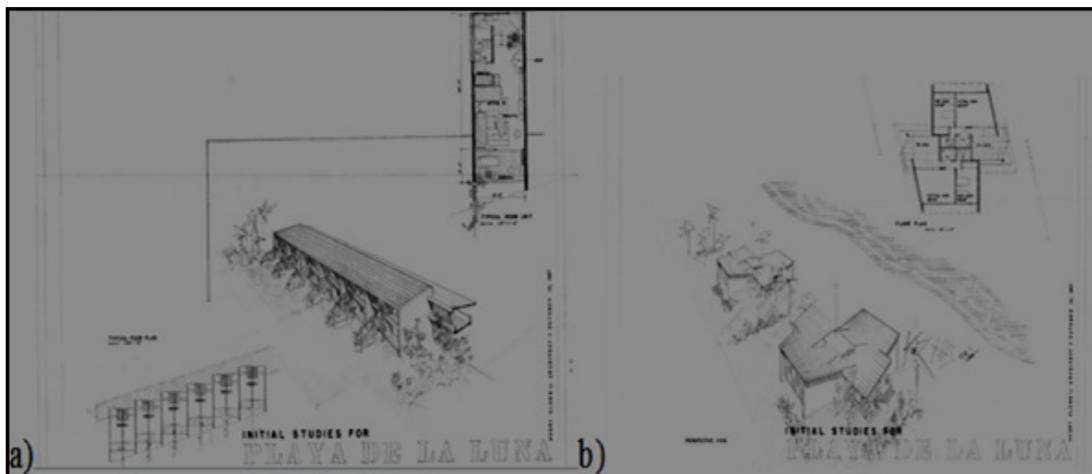


FIGURE 3. Henry Klumb's beach house or duplex cottage design plan; Fig. 3b. Family villages for *Playa de la Luna* resort in 1958. Source: AACUPR Collection, a. HKI 0170: P004; b. HKI: 0170: P005.



Contrary to Loíza's Vacía Talega, where a mega complex design by Basora & Rodríguez and Font & Pereira in 1972 better defines the development model of tourism, Klumb recognizes in Playa la Luna design the ecological attributes of water, land, and air

within El Convento beach. In this matter we may find the importance of Klumb's contribution, which was, proposing a cornerstone sustainable housing model to follow for any future eco-lodge proposal within the NECNR.

FIGURE 4. Henry Klumb's *Playa de La Luna* Initial Study site plan for hotel development. Source: AACUPR Collection, HKI 0170:P003.

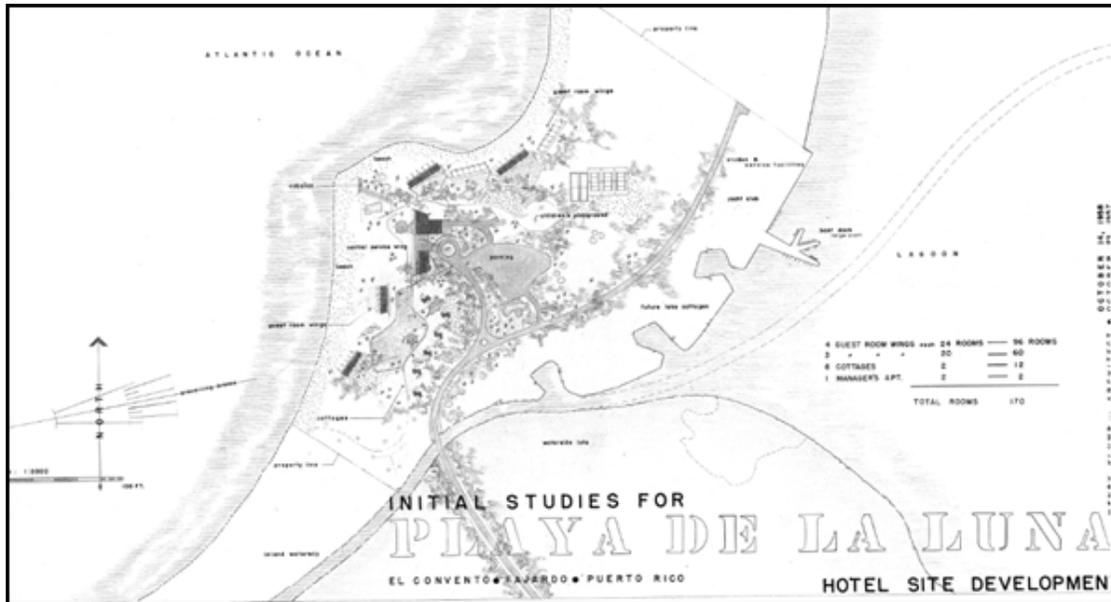
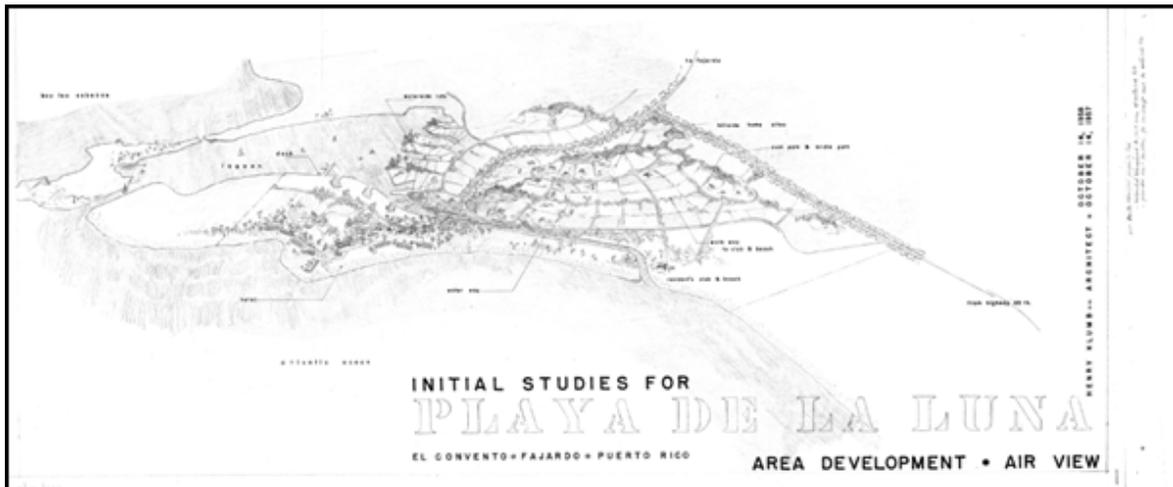


FIGURE 5. Klumb's Initial Study air view plan for the hotel development. Source: AACUPR Collection, HKI 0170:P002.



**Governor's Beach House Second Design:
Toro & Ferrer Firm's Fajardo Beach
Development at El Convento (1961-1978)**

A few notes in the AACUPR library at UPR- RP, mentioned a pre-fabricated unit built at El Convento beach, and we found a photograph of the original structure, apparently built by Klumb, circa 1960 (Fig. 6). Aerial photos from 1930-31 showed, what was possibly a small structure, nearby the north side El Convento beach (Vélez Rodríguez 2016).

Another aerial photograph (Fig. 7) and topographic USGS maps from 1930-1962 indicate that this structure was possibly a Klumb cottage duplex unit designed by late 1950's or early 1960's, and was later transformed by the Toro & Ferrer in the 1970s (Toro and Ferrer 1978). This suggests that Toro & Ferrer possibly modified Klumb's beach cottage duplex unit, with a possible intervention of the Amaral & Morales Firm in the late 1970's. Amaral & Morales was the designer firm and

developer of *Hotel Las Delicias* in Fajardo, and won the Progressive Architecture Award in 1961 (Escuela de Arquitectura UPR 2007).

Those interventions were the reasons to create the actual configuration building known as Puerto Rico Governor's Beach House, located today at El Convento beach. Following Klumb's *Playa de La Luna* project, the Toro & Ferrer Firm did not take for granted the importance of the ecological attributes of the area and integrated them into their design. There is an existing structure in the site plan of Toro & Ferrer which represents the basic structure of the Governor's beach house as it exists today (Fig. 8).

After studying site plans of both proposals, we noticed that this cottage possibly was built by Klumb and that Toro & Ferrer modified it after 1972. The modification of the structure is clearly identified in a particular sketch where a BBQ area layout was designed and added to the rectangular structure (Fig. 9). Furthermore, it is

FIGURE 6. The original structure of the Governor's beach house at El Convento beach apparently built by Henry Klumb. Source: AACUPR Collection, TFA 0079: F003.



FIGURE 7. Aerial Photos of El Convento beach from 1931 (left) and 2013 (right). Source: US Navy (1931), acquired from <http://pr1930.revistatp.com/> and Google Earth (2013).



possible that another architectural firm, Amaral & Morales (1945-1974), worked with Toro & Ferrer on the final layout, which corresponds to the house as it actually stands (Fig. 10).

**Governor's Beach House Last Design:
Aesthetic Remodeling Attempts by Sila
María Calderón (2001-2002) Political Party
*Partido Popular Democrático***

The Governor's Beach House structure was also intended to be remodeled in two occasions between 2001 and 2002. The first attempt, ordered by the administration of Puerto Rico's Governor, Sila María Calderón was cancelled in lieu of a house maintenance project, leaving the structure design intact (Fig. 11). The second attempt was ordered by PRIDCO but neither the architectural, nor the engineering phase was completed (Fig. 12). The proposed designs documents are available at Foundation for Puerto Rico, Sila M. Calderón's Library (Arce 2001).

CONCLUSIONS

**Assessing the Historic, Cultural and
Local Environmental Values of the
Governor's Beach House for a Future
NECNR Co-management Project**

Why is history and specifically, that of a structure, relevant to the management of any natural protected area such as the NECNR? The historical pathway and historical architecture constructions within the NECNR and its surrounding areas reinforce the scientific knowledge gained in this reserve, which promotes values and forms of preservation of a natural and built heritage. First, we recommend to increase the educational and communal cultural appreciation of NECNR as a protected area. This is especially true, as our ways of understanding the historical human and environmental dimensions are important to reach the preservation values of the community as it pertains to a specific place.

FIGURE 8. Toro y Ferrer's Playa el Convento Fajardo, development site plan showing an existing unit possibly attributed to Henry Klumb. Source: Toro y Ferrer, 1978, TFA 0079: POO12.

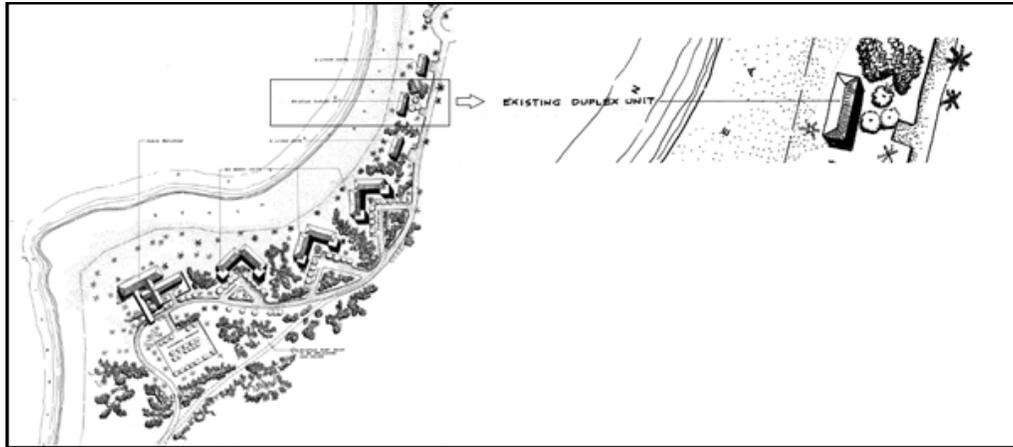


FIGURE 9. Outline sketch of the Governor's beach house. Source: AACUPR Collection, TFA 0079: P0018.

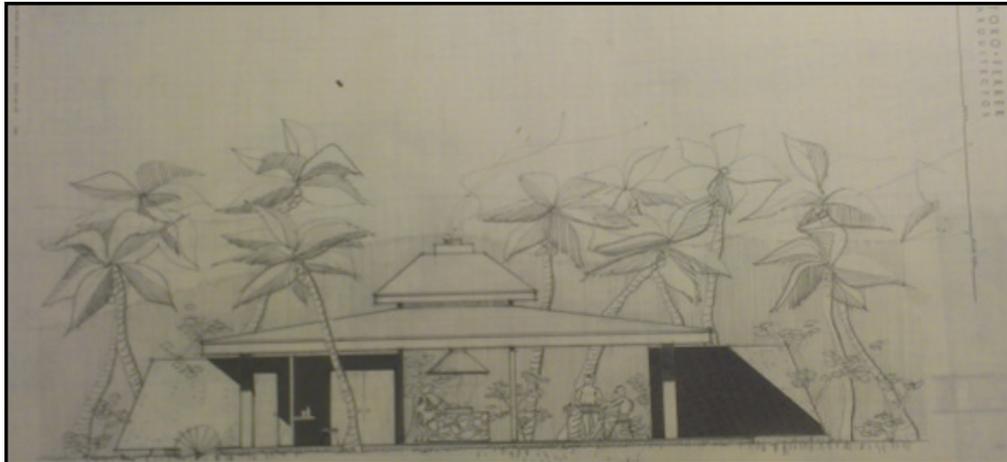


FIGURE 10. Current structure of the Governor's Beach House at El Convento beach, Fajardo. Photo: Luis Villanueva-Cubero, 2012.



FIGURE 11. Arch. Arce design for GHB 2001 remodel. FFPR Sila M. Calderón's Library. GBH Records.

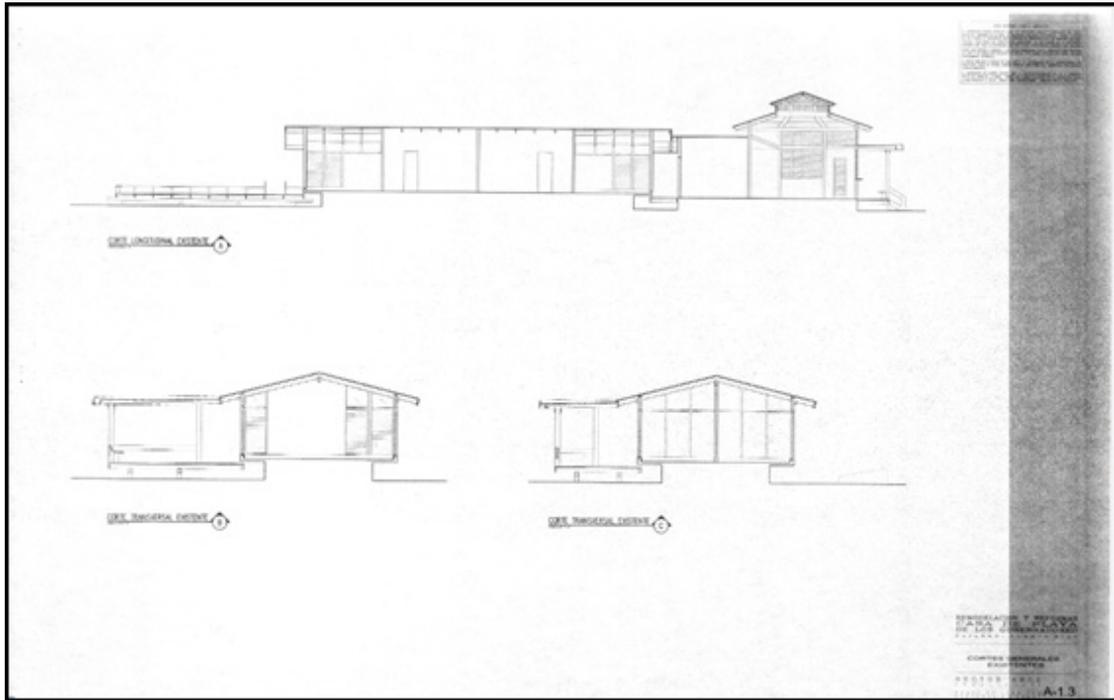
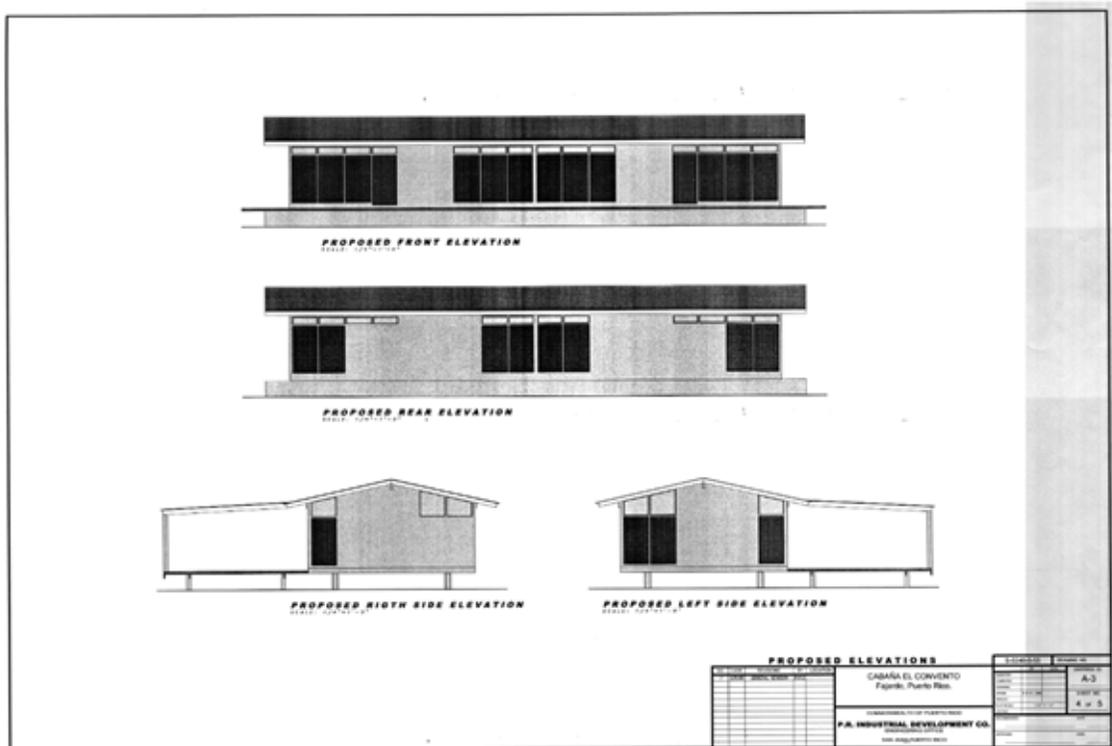


FIGURE 12. PRIDCO remodel design for GHB 2002. FFPR Sila M. Calderón's Library. GBH Records.



Second, we also recommend to look after sustainable and eco-designs for any construction attempt. There are several long-standing examples of the importance of sustainable design and cultural heritage built patrimony around the world as the United Nation's World Heritage list and several tourist guides attests, and Puerto Rico has its fair share. Third, we need to promote historical and cultural heritage values in an integrated assess for tourism. In Guánica's dry forest, the built architecture has been considered as an important social-environmental element, and as part of the forest historical and cultural value (Pabón Charneco 2000). The same is true for the Aguirre Sugar Mill located within the Jobos Bay Reserve Jobos Bay National Estuarine Research Reserve (Llorens Santos 2006). Also, the Mount Britton Tower, La Mina pool, panoramic towers, and the storm waters constructed by the CCC under the New Deal's conservation program in 1930's are a fair example of how integrated values are transformed as key elements for this historical and cultural landscape interpretation (Mathews 2007, Valdés Pizzini et al. 2012). Along the NECNR coastal margin there are seven bay shores enjoyed for recreation, in which historic 19th century (and probably earlier) artifacts reside, attributes of sugar cane milling (Fig. 13), as well as a 280 by 65 meter pond built for irrigation purposes. Nearby at Las Cabezas de San Juan Nature Reserve, pre-Colombian graves have been found. The NECNR shares the attribute of having, not only ecological, but social, cultural, and historic values, as in other protected areas in Puerto Rico. Despite the fact that Klumb and Toro & Ferrer's projects were not completed, their basic philosophical theories of a rational relation between construction and landscape serve as a case study for future assessment and project proposals. Those historical, aesthetic and cultural values became real environmental attributes in a non-monetary economical method analysis to promote and protect the NECNR's natural resources. In

that direction, those values create a border between conservation and the pressures of unsustainable models proposed by third party developers-government alliance.

Some recent examples that support the importance of a sustainable design for the NECNR include various efforts made by multi-sectorial public representative parties, such as the Coalition for the Northeast Ecological Corridor (Guerrero Pérez 2010). According to the University of Puerto Rico Library Database, twenty graduate student's master theses from UPR's School of Architecture address ecotouristic value models within the NECNR and more than twenty graduate student's master theses from the UPR Graduate School of Planning relate to the NECNR or nearby areas. In addition, several graduate student's master theses and doctoral dissertations from the UPR Faculty of Natural Sciences focus on ecological values of the NECNR. Further, the authors know of other thesis done by students from universities other than UPR.

There is a general and rational concern regarding the conservation of the NECNR, as public lobbying to stop destruction of its coastal attributes pushed forward the initiative to declare it a protected area, and any proposal for development of the NECNR in the present and future must be sustainable. An Executive Order by Governor Aníbal Acevedo Vilá to declare the NECNR a nature reserve came into effect in 2008 only to be rescinded in 2009 by the following administration of Governor Luis Fortuño Burset. Nevertheless, an intense lobbying campaign spearheaded by environmental groups with support in both houses of the Legislature forced him to sign Law No. 126 of June 25, 2012, which established as a reserve all publicly-owned lands within the NECNR. Then, Governor Alejandro García Padilla amended this action by signing Law No. 8 of April 13, 2013,

FIGURE 13. Furnace and cauldron remains, possibly used to heat molasses from the Sugar Mill. Photo taken near *La Escondida* beach in the NEC. Photo: Johnny Lugo-Vega, 2014.



granting nature reserve status to all lands within the NECNR (Coto 2013). Afterwards, a co-management agreement was signed between the Coalition for the Northeast Ecological Corridor and the PR Department of Natural and Environmental Resources, further integrating the community into the management of this reserve. It now remains to be seen if this model of co-management will further a vision and sustainable management for the NECNR, where its ecological, social, and historical attributes are protected, while any development needed to accommodate its visitors occurs in three gateway communities planned in dilapidated urban areas adjacent to the resource.

The Environmental and Historical New Contours for a NECNR Co-management Proposal

The historical values encompassed by the GBH can be visualized as an integral aspect of the NECNR's management. The environmental management efforts are more open to the context of ecology and social sciences and humanities. Ian Scoones appointed Brian Wynne to focus the elements of human and non-human relations in the new millennium such as risk, uncertainty, and indeterminacy, as key forms of thinking for the process of scientific inquiry and public policy responses to environmental issues (1999:496). From a

basic framework of understanding valuation of an ecosystem (Constanza 1996), alternative voices from economics added cultural and historical values to the standard quantifiable ecosystem services.

This new paradigm enhanced the concept of ecosystem resources integration units under Earth's ecosystem idea for the New Millennium (Hobbs and Harris 2001). A similar trend in restoration ecology seeks to analyze integral units as dynamic and integrated totalities rather than focus solely on the pragmatic economical nomination of ecosystems. Environmental justice principles, which emerged in the 1960's and 1970's (White 1985), opened community claims that developed as new forms of response against local governments that supported mega projects within coastal zones; for example, when public access to and recreation in beaches is denied due to private interests (Fontáñez Torres 2009).

In lieu of Puerto Rico's economic crisis it remains to be seen what planning methods, attributes, and values are adopted to spearhead economic revitalization of Puerto Rico's northeast region. On the one hand there is the traditional use of construction and large-scale development to attract industrialization and tourism. On the other hand, there are new perspectives that aim to preserve the importance of ecologically sensitive areas such as El Yunque National Forest and the NECNR with alternative ways of sustainable development such as co-management proposals that engage public participation in decision making (Wolf 1972, Rivera Herrera 2009, Feibelman 2012).

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the members of the Coalition for the Northeast Ecological Corridor and the Puerto Rico Department of Natural and Environmental Resources for their assistance.

Also, our gratitude is extended to the *Colección Puertorriqueña* staff at UPR-RP. Thanks to Dr. Enrique Vivoni for his comments over Klumb's architecture works, and to Mrs. Elena García from ACCUPR. Special thanks to Dr. Juan Guisti Codero for his review and important comments and recommendation. Thanks to Mr. José E. Ortiz Irizarry, from the Sila M. Calderón Foundation Archive for access to the remodeling blueprints. Special thanks to Mrs. Carmen Huertas Colón, for her notes and the Basora & Rodríguez 1973's pamphlet and public press suggestions. This work was supported by the Integrative Graduate Education and Traineeship (IGERT. Funded by the National Science Foundation – NSF #0801577).

LITERATURE CITED

- Alleng, G.P. 1998. Historical Development of the Port Royal Mangrove Wetland, Jamaica. *Journal of Coastal Research*, 14 (3), 951-959.
- Andrews, K. 1978. *The Spanish Caribbean trade and plunder 1530-1630*. New Haven: Yale University Press.
- Bergad, L.W. 1983. *Coffee and the growth of agrarian capitalism in nineteenth-century Puerto Rico*. Princeton: Princeton University Press.
- Burke, P. 1997. *Varieties of cultural history*. Ithaca: Cornell University Press.
- Campo Urrutia, M. 2004. De Ebenezer Howard a Franklin Delano Roosevelt y Redford G. Tugwell: precedentes al nuevo trato de una dialéctica de la ciudad americana. *Historia y Sociedad*, 15, 3-26.
- Costanza, R. 1996. Ecological economics: reintegrating the study of humans and nature. *Ecological Applications*. 6(4), 978-990.
- Coto, D. (2013, April 13). Northeast Ecological Corridor, Puerto Rico leatherback turtle nesting site, receives

- protection. The Huffington Post. Retrieved from <http://www.huffingtonpost.com>
- Crosby, A.W. 1973. *The Columbian exchange: biological and cultural consequences of 1492*. Westport: Greenwood Press.
- Darán comienzo inmediato a desarrollo de balneario (1961, September 14). *El Mundo*. p.5.
- Del Cueto, B. 2011. The development of hydraulics mortars, cement and concrete in Puerto Rico. *The Journal of Preservation Technology*, 42 (1): 45-52.
- Dietz, J.L. 2002. *Historia económica de Puerto Rico*. Río Piedras: Ediciones Huracán.
- Domínguez Cristóbal, C. 2000. *Panorama histórico forestal de Puerto Rico*. San Juan: Editorial de la Universidad de Puerto Rico.
- Escuela de Arquitectura UPR. 2007. *Archivo de Arquitectura y Construcción de la Universidad de Puerto Rico*.
- Feibelman, C. 2012. *An ecotourism planning proposal for Luquillo, Puerto Rico, and its adjacent Northeast Ecological Corridor*. (Master Thesis). Retrieved from Graduate School of Planning, University of Puerto Rico, Río Piedras Campus.
- Fontáñez Torres, É. 2009. El discurso legal en la construcción del espacio público: Las playas son públicas, nuestras, del pueblo. *Revista De Ciencias Sociales*, 20, 42-77.
- Gayer, A.D., P.T. Homan y E.K. James. 1938. *The sugar economy of Puerto Rico*. New York: Columbia University Press.
- Giusti Cordero, J.A. 1994. *Labor, ecology and history in a Caribbean sugar plantation region: Piñones (Loíza), Puerto Rico 1770-1950*. (Doctoral dissertation). Retrieved from State University of New York at Binghamton, Department of Sociology.
- González Vélez, P.A. 2000. *Caña dulce, azúcar amarga: el impacto socio-económico de la Fajardo Sugar Co. en el nordeste de Puerto Rico (1905-1940)*. (Doctoral Dissertation). Retrieved from University of Puerto Rico Río Piedras. Graduate Program in History.
- Guerrero Pérez, C. 2010. *Puerto Rico's Northeast Ecological Corridor Campaign: 1998-2010*. Retrieved from Yale University's School of Forestry and Environmental Studies, New Haven.
- Hays, S.P. 1959. *Conservation and the gospel of efficiency; the progressive conservation movement, 1890-1920*. Cambridge: Harvard University Press.
- Henderson, H.L. y D.B. Woolner. 2005. *FDR and the environment*. New York: Palgrave Macmillan.
- Heywood, V.H. 1987. The changing role of the botanic gardens. Pages 3-18 in D. Bramwell (ed.) *Botanic gardens and the world conservation strategy*. London: Academic Press.
- Hobbs, R.J. y J.A. Harris. 2001. Restoration ecology: repairing the earth's ecosystems in the new millennium. *Restoration Ecology*, 9 (2): 239-246.
- Leuchtenburg, W.E. 1963. *Franklin D. Roosevelt and the New Deal, 1932-1940*. New York: Harper & Row.
- Lloréns Santos. 2006. Central Aguirre. *Conserva* (2), 14-20.
- Lugo, A.E. 2004. H.T. Odum and the Luquillo Experimental Forest. *Ecological Modelling*, 178 (1-2), 65-74.
- Maldonado, A.W. 1997. *Teodoro Moscoso and Puerto Rico's Operation Bootstrap*. Gainesville: University Press of Florida.
- Martinuzzi, S., W. Gould y O.M. Ramos-González. 2007. Land development, land use, and urban sprawl in Puerto Rico integrating remote sensing

- and population census data. *Landscape and Urban Planning* 79: 288–297.
- Mathews, T.G. 2007. *La política puertorriqueña y el nuevo trato*. Río Piedras: Editorial de la Universidad de Puerto Rico.
- Morales Carrión, A. 2003. *Puerto Rico y la lucha por la hegemonía del Caribe: colonialismo y contrabando, siglos XVI-XVIII*. Río Piedras: Editorial de la Universidad de Puerto Rico.
- Pabón Charneco, A. 1991. *Taking the fiesta to the forest: the civilian conservation corps and Puerto Rico. An interpretative analysis of Guánicas's Fort Boriquen and Fort Capron*. Retrieved from Dr. Manuel Rodríguez Vázquez, History Department.
- Picó, F. 1981. *Amargo café: los pequeños y medianos caficultores de Utuado en la segunda mitad del siglo XIX*. Río Piedras: Ediciones Huracán.
- Ramos Mattei, A.A. 1988. *La sociedad del azúcar en Puerto Rico*. Río Piedras: Editorial de la Universidad de Puerto Rico.
- Rivera Herrera, L.J. 2009. *Análisis crítico del plan conceptual de desarrollo turístico de la costa nordeste de Puerto Rico para los terrenos de la Reserva Natural Corredor Ecológico del Noreste (Master Thesis)*. Retrieved from Graduate School of Planning, University of Puerto Rico, Río Piedras Campus.
- Rodríguez Vázquez, M. 2002. *Representing development: New perspectives about the new deal in Puerto Rico 1933-36*. *Centro Journal*, 14(2), 149-179.
- Roig Bachs, C. 2001. *Complejo ecoturístico Las Paulinas*. (Master thesis) Retrieved from School of Architecture, University of Puerto Rico, Río Piedras Campus.
- Santana Berman, D. 1996. *Kicking off the bootstraps: environment, development, and community power in Puerto Rico*. Tucson: University of Arizona Press.
- Santana Rabell, L. 1984. *Planificación y política durante la administración de Luis Muñoz Marín: un análisis crítico*. 1st. ed. Santurce, PR: Análisis, Revista de Planificación.
- Scarano, F.A. 2008. *Puerto Rico: Cinco siglos de historia*. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores.
- Schwartz, S.B. 1992. *The hurricane of San Ciriaco: disaster, politics and society in Puerto Rico, 1899-1901*. *Hispanic American Historical Review*, 72(3), 303-334.
- Scoones, I. 1999. *New ecology and the social sciences: What prospects for a fruitful engagement?* *Annual Review of Anthropology*, 28: 479-507.
- Sepúlveda Rivera, A. 1989. *San Juan: historia ilustrada de su desarrollo urbano, 1508-1898 Vol. 1-4*. Viejo San Juan, PR: CARIMAR.
- Silvestrini, B.G. y M.D. Luque de Sánchez. 1991. *Historia de Puerto Rico: trayectoria de un pueblo*. San Juan: Ediciones Cultural Panamericana.
- Sued Badillo, J. 2001. *El dorado borincano: la economía de la conquista, 1510-1550*. San Juan: Ediciones Puerto.
- Toro and Ferrer. 1978. *Project proposal for Playa la Luna, Fajardo, PR*. File number TFA 0079: POO12. ACCUPR, Río Piedras, Puerto Rico.
- Tourist boom moves into Puerto Rico's Northeast Coast*. (1958, June 3) *The Daily News*. p. 1-3.
- Valdés Pizzini, M., M. González-Cruz y J.E. Martínez-Reyes. 2012. *La transformación del paisaje puertorriqueño y la disciplina del Cuerpo Civil de Conservación, 1933–1942*. *Caribbean Studies*, 40(2), 203-206.
- Vélez Rodríguez, L.L. (ed.) 2016. *Turning point: avances en la tecnología geo-espacial*. [URL: <http://pr1930.revistatp.com/>]

- Vivoni Farage, E. 2005. The Modern Puerto Rico and Henry Klumb. *Decomomo*, 33, 28-37.
- Vivoni Farage, E. 2006. KLUMB: An architecture of social concern. *Río Piedras: Editorial de la Universidad de Puerto Rico*.
- White, R. 1985. American environmental history: the development of a new historical field. *Pacific Historical Review*, 54(3): 297-335.
- Wolf, E. 1972. Ownership and political ecology. *Anthropological Quarterly*, 45(3): 201.

ACTA CIENTÍFICA is the transdisciplinary journal of the Puerto Rico Science Teachers Association. **ACTA** publishes research papers in any scientific field, i.e., physics, chemistry, biochemistry, botany, zoology, ecology, biomedics, medicine, behavioral psychology, or mathematics. An article describes a complete definite study. Notes describe a complete project, are shorter, and usually refer to original findings or important modifications of previously described techniques. Essays discuss general scientific problems but are not based on original experimental results. Reviews discuss the most recent literature on a given subject.

Manuscripts should be sent in by email to the Editor, who will submit them for review to a referee in the field of science involved. Acceptance of papers will be based on their scientific content and presentation of material in accordance with **ACTA**'s editorial norms. Manuscripts can be presented in English or Spanish. Submission of a manuscript implies it has not been published nor is being considered for publication by any other journal.

Ariel E. Lugo
Editor, **Acta Científica**, USDA Forest Service,
International Institute of Tropical Forestry
1201 Ceiba St., Jardín Botánico Sur
Río Piedras, PR 00926-1119
alugo@fs.fed.us

To ensure due consideration to each manuscript, authors are advised to consult the following INSTRUCTIONS TO AUTHORS:

- 1) Body of the manuscript:
 - Submissions can be written in English or Spanish and should be double-spaced in “Times New Roman” 12p.
 - Manuscripts should be accompanied by a summary in Spanish and an abstract in English, double-spaced and on separate pages, headed by the complete title of the paper. The title should be informative and short, generally no longer than 12 words; a shorter title (no more than 40 letters) in the paper’s original language should be included for use as a running head. Use of keywords to describe the article is recommended.
 - Each sentence must be followed by two spaces.
 - All paragraphs must be indented.
 - All pages must be numbered including the title page.
 - Headings: **ACTA** uses primary, secondary, and if needed tertiary headings.
 - Primary headings should be all capital letters, 12p bold, centered
e.g., **METHODS**
 - Secondary headings should be title case, 12p bold, centered
e.g., **Description of Study Case**
 - Tertiary headings should be title case, 12p bold, left justified
e.g., **Mata de Plátano Biological Reserve**
 - Assemble the parts of the manuscript in the following order: title page, abstract (English and Spanish), keywords, text, acknowledgements, literature cited and appendices. Figures, photographs and tables should not be embedded in the text but should be submitted separately.
- 2) Figures should have 300 dpi resolution or higher. Photographs should be in high resolution. A list of figures with corresponding legends should be typed double-spaced on separate pages.

- 3) Tables should be typed double-space, presented on separate pages, numbered consecutively, have a short title and be precise. Do not repeat the same material in figures and tables.
- 4) Authors should use the metric system for their measurements. Consult the International System of Units (SI) as a guide in the conversion of measurements. When preparing text and figures, note that SI requires:
 - the use of the terms “mass” or “force” rather than “weight”.
 - when one unit appears in a denominator, use the solidus (e.g., g/m²); for two or more units in a denominator, use one solidus and a period (e.g., g/m².d).
 - use the capital “L” as the symbol for litre.
 - use of “Mg” for ton or Megagram.
- 5) Authors must accompany the manuscript with a list of all appendices, figures, photos, tables, and several keywords.
- 6) Literature Cited:
 - Literature cited should be in the style used in the journal *Ecology*. For the proper sequence and punctuation see examples below. Do not abbreviate journal titles. Examples of how to cite authors in the text based on the list below: e.g., Foster 2007; Clark and Tilman 2010; Pardo et al. 2011.
 - **Journal citation:**
Clark, C. M., and D. Tilman. 2010. Recovery of plant diversity following N cessation: effects of recruitment, litter, and elevated N cycling. *Ecology* 91:3620–3630.
 - **Book:**
Sokal, R. R., and F. J. Rohlf. 1995. *Biometry: the principle and practice of statistics in biological research*. Third edition. W.H. Freeman and Co., New York, New York, USA.
 - **Book Chapter:**
Hartshorn, G. S., and B. E. Hammel. 1994. Vegetation types and floristic patterns. Pages 73–89 in L. A. McDade, K. S. Bawa, H. A. Hespenheide, and G. S. Hartshorn, editors. *La Selva: ecology and natural history of a neotropical rain forest*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA.
 - **Government Report:**
Pardo, L. H., M. J. Robin-Abbott, and C. T. Driscoll. 2011. Assessment of Nitrogen deposition effects and empirical critical loads of Nitrogen for ecoregions of the United States. General Technical Report NRS-80. USDA Forest Service, Northern Research Station, South Burlington, Vermont, USA.
 - **Dissertation:**
Foster, S. E. 2007. The co-occurrence and interactions of large invertebrate predators in relation to the *Bythotrephes* invasion. Dissertation. University of Toronto at Mississauga, Mississauga, Ontario, Canada.
 - **Webpage:**
Keeland, B. D., and P. J. Young. 2004. Construction and installation of dendrometer bands for periodic tree-growth measurements. U.S. Geological Survey, National Wetlands Research Center, Lafayette, Louisiana, USA.
<http://www.nwrc.usgs.gov/Dendrometer/index.htm>
 - **Software:**
SAS Institute. 2009. JMP version 8.0. SAS Institute, Cary, North Carolina, USA.
- 7) ACTA provides authors with a .pdf of their article. All issues of ACTA can be downloaded free of cost at: <https://www.treearch.fs.fed.us/>. Enter **Acta Cientifica** in the “Title” slot of the “Search for on-line publications” window.

The Editor is responsible for unsigned comments and editorials. The Science Teachers Association of Puerto Rico does not necessarily agree with any opinions expressed in ACTA nor do these opinions represent those of any individual member. Readers are cordially invited to make comments by sending letters to the Editor at: alugo@fs.fed.us. This journal serves no commercial interest and does not provide economic benefit to its editors.

ACTA CIENTÍFICA es la revista transdisciplinaria de la Asociación de Maestros de Ciencia de Puerto Rico. **ACTA** considera para su publicación, trabajos originales en cualquier área de la ciencia, a saber, física, química, bioquímica, zoología, botánica, ecología, biomédica, medicina, ciencias terrestres, ciencias atmosféricas, psicología del comportamiento, tecnología farmacéutica o matemáticas. Un artículo describe un estudio completo y definitivo. Una nota es un proyecto completo, pero más corto, que se refiere a hallazgos originales o importantes modificaciones de técnicas ya descritas. Un ensayo trata aspectos relacionados con la ciencia, pero no está basado en resultados experimentales originales. Una revisión es un artículo que comenta la literatura más reciente sobre un tema especializado.

Los manuscritos deben ser enviados por correo electrónico al Editor, quien los someterá a revisión crítica de revisores en el área de ciencia concernida. La aceptación de trabajos estará basada en su contenido científico y la presentación del material de acuerdo a las normas editoriales de **ACTA**. El requisito de manuscritos enviados para publicación es que el mismo no está ni ha sido presentado a otra revista científica.

Ariel E. Lugo
Editor, **Acta Científica**, Servicio Forestal de los Estados Unidos de América,
Instituto Internacional de Dasonomía Tropical
1201 Calle Ceiba, Jardín Botánica Sur
Río Piedras, Puerto Rico 00926-1119
alugo@fs.fed.us

Para asegurar la consideración de su manuscrito, se aconseja prepararlo de acuerdo a las siguientes INSTRUCCIONES PARA AUTORES:

- 1) Texto del manuscrito:
 - Los trabajos pueden ser escritos en inglés ó español y deben estar a doble espacio y en “Times New Roman” 12p.
 - Los trabajos deben ir acompañados de un resumen en español y un abstracto en inglés, escrito a doble espacio y en hojas separadas, encabezadas por el título completo del trabajo. El título debe ser informativo y corto, generalmente no más de 12 palabras. El autor debe indicar un título más breve (no más de 40 letras), en el mismo idioma del trabajo, para ser utilizado como encabezamiento de cada página (running head).
 - Cada nueva oración debe ser antecedida por dos espacios.
 - Cada párrafo debe estar indentado.
 - Enumere todas las páginas incluyendo la del título.
 - Encabezamientos: **ACTA** usa encabezamientos primarios, secundarios y de ser necesario, terciarios.
 - Encabezamientos primarios deben estar en mayúscula, 12p ennegrecido, (centralizado, e.g., **MÉTODOS**)
 - Encabezamientos secundarios deben estar en *title case*, 12p ennegrecido, centralizado, e.g., **Descripción del Caso**)
 - Encabezamientos terciarios deben estar en *title case*, 12p ennegrecido, justificado a la izquierda, e.g., **Reserva Biológica Mata de Plátano**)
 - Compagine las partes de sus manuscritos en este orden: página de título, resumen, texto, agradecimiento, literatura citada, anejos, tablas, leyendas de figuras, y figuras. Las figuras, fotografías y tablas no deberán estar insertadas dentro del texto sino sometidas por separado.
- 2) Las figuras deben tener una resolución no menor de 300 dpi. Las fotografías deben estar en alta resolución. Debe presentarse una lista de figuras junto con las leyendas de cada una, mecanografiadas a doble espacio en hojas separadas del artículo.
- 3) Las tablas deben: mecanografiarse a doble espacio, presentarse cada tabla en hojas separadas, consecutivamente, tener un título breve, y ser precisas. No deben repetir material en tablas y en figuras.

- 4) Los autores deben usar el sistema métrico para sus medidas. Consúltense el Sistema Internacional de Unidades (SI) como guía en la conversión de sus medidas. Al redactar texto y preparar figuras, nótese que el sistema internacional de unidades requiere:
- el uso de términos masa o fuerza en vez de peso.
 - cuando una unidad es expresada en denominador, se debe utilizar el sólido (e.g., g/m²); para dos o más unidades en un denominador, use el sólido y un decimal (e.g., g/m².d).
 - use la “L” como el símbolo de litro.
 - use “Mg” como el símbolo para toneladas o Megagramo.
- 5) Se debe acompañar el texto del trabajo con una lista de todos los anejos, figuras, fotografías y tablas.
- 6) Literatura citada:
- La literatura citada debe estar en el formato usado por la revista *Ecology*. Para seguir la secuencia y la puntuación correcta véase los ejemplos que siguen a continuación. Los títulos de las revistas no deben ser abreviados. Ejemplos de como citar autores en el texto: e.g., Foster 2007; Clark and Tilman 2010; Pardo et al. 2011.
 - **de una revista:**
Clark, C. M., and D. Tilman. 2010. Recovery of plant diversity following N cessation: effects of recruitment, litter, and elevated N cycling. *Ecology* 91:3620–3630.
 - **de un libro:**
Sokal, R. R., and F. J. Rohlf. 1995. *Biometry: the principle and practice of statistics in biological research*. Third edition. W. H. Freeman and Co., New York, New York, USA.
 - **del capítulo de un libro:**
Hartshorn, G. S., and B. E. Hammel. 1994. Vegetation types and floristic patterns. Pages 73–89 in L. A. McDade, K. S. Bawa, H. A. Hespenheide, and G. S. Hartshorn, editors. *La Selva: ecology and natural history of a neotropical rain forest*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA.
 - **de un reporte gubernamental**
Pardo, L. H., M. J. Robin-Abbott, and C. T. Driscoll. 2011. Assessment of Nitrogen deposition effects and empirical critical loads of Nitrogen for ecoregions of the United States. General Technical Report NRS-80. USDA Forest Service, Northern Research Station, South Burlington, Vermont, USA.
 - **de una disertación :**
Foster, S. E. 2007. The co-occurrence and interactions of large invertebrate predators in relation to the *Bythotrephes* invasion. Dissertation. University of Toronto at Mississauga, Mississauga, Ontario, Canada.
 - **de una página web:**
Keeland, B. D., and P. J. Young. 2004. Construction and installation of dendrometer bands for periodic tree-growth measurements. U.S. Geological Survey, National Wetlands Research Center, Lafayette, Louisiana, USA.
<http://www.nwrc.usgs.gov/Dendrometer/index.htm>
 - **de un Software:**
SAS Institute. 2009. JMP version 8.0. SAS Institute, Cary, North Carolina, USA
- 7) ACTA le proveerá a los autores un pdf de su artículo. Todos los números de ACTA pueden ser bajados libre de costo del portal: <https://www.treearch.fs.fed.us/>. Debe de escribir **Acta Científica**, sin acentuar, en el espacio denominado *Title* en la ventana *Search for on-line publications*.

El editor es responsable de los comentarios y editoriales que aparezcan sin firma. Las opiniones expresadas no son necesariamente aquellas de la Asociación de Maestros de Ciencia de Puerto Rico, ni obligan a sus miembros. Los lectores están cordialmente invitados a expresar sus opiniones en la sección Cartas al Editor. Esta revista no tiene propósitos comerciales y no produce beneficio económico alguno a sus editores.

