

ACTA CIENTÍFICA

Asociación de Maestros de Ciencias de Puerto Rico



PROHIBIDO
EL PASO
A NO RESIDENTES

PORTADA



Foto de un sector de las playas de Rincón ilustrando la desconexión entre el entorno marino y el social. A la derecha se observa la arena de playa y el nivel del mar en el momento de la foto. A la izquierda, el frente de la propiedad que es una pared. La escalera de acceso a la playa se queda corta, reflejando la pérdida de altura de la playa. Claramente la situación ha cambiado desde que se diseñó y construyó esa estructura. En el presente no hay armonía entre los dos entornos.

EDITORIAL

Ariel Lugo	3
------------	---

ARTÍCULOS

TEMPORAL TRENDS OF STRUCTURE, SPECIES COMPOSITION, AND FUNCTIONING IN AN URBAN FOREST	5
Robert L. Spicer and Ariel E. Lugo	

REPORTES

EFFECTS OF HURRICANES IRMA AND MARIA ON BIRDS IN THE FAJARDO CHRISTMAS BIRD COUNT IN NORTHEASTERN PUERTO RICO: A PRELIMINARY ASSESSMENT	18
Joseph M. Wunderle, Jr.	
EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PROYECTO “INDUCCIÓN DE LLUVIA DURANTE LA SEQUÍA DEL 2015 EN PUERTO RICO” LLEVADO A CABO POR LA AUTORIDAD DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS (AAA)	34
Ferdinand Quiñones	
EVALUATING THE ECOLOGICAL ASPECTS OF THE GRAN SABANA NATIONAL PARK	47
Lemuel Familia, Angela Guerrero and Clifford J. Louime	
EL HURACÁN MARÍA EN AÑASCO Y SUS EFECTOS EN SISTEMAS SOCIALES-ECOLÓGICOS DEL NORTE Y OESTE DE PUERTO RICO	60
Oscar J. Abelleira Martínez	

ENSAYOS

MANIFIESTO DE PALMAS DEL MAR ¿QUÉ HACER SI EL MAR NO SE QUEDA QUIETO Y LAS COSTAS SIGUEN CAMBIANDO?	79
Ariel E. Lugo, Maritza Barreto Orta, Miguel Canals Silander, Ruperto Chaparro, María Santos Corrada, Ernesto Díaz, Juan G. González Lagoa, Edwin A. Hernández Delgado y José Molinelli	
SALVEMOS LAS PLAYAS	118
Sandra Gracia	
CAMBIO CLIMÁTICO: EFECTO EN LOS COQUÍES DE PUERTO RICO	120
Reinaldo Plaza	

RESUMEN DE REUNIONES

30:75:100 - THE STOICHIOMETRY OF RESEARCH, SCIENCE EDUCATION AND FOREST CONSERVATION IN PUERTO RICO	127
Ariel E. Lugo	
THE PRACTICE OF TROPICAL FORESTRY IN PUERTO RICO: COLLABORATION, VALUE, AND SERVICE THROUGH HISTORY	129
Ariel E. Lugo	
REFLEXIÓN SOBRE LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS Y EL FUTURO DE PUERTO RICO	133
Ingrid M. Vila Biaggi, MS, PE	
FROM FORESTS TO THE PUBLIC SPHERE: PROMOTING AWARENESS BY EXPANDING CONCERN	137
Priya Parrotta	
REFLEXIÓN SOBRE LOS BOSQUES PÚBLICOS DE PUERTO RICO Y SU IMPORTANCIA PARA EL FUTURO DE LA ISLA	140
Hilda Díaz Soltero	

ÍNDICE

ÍNDICE DE LOS VOLÚMENES 26-30 DE LA REVISTA ACTA CIENTÍFICA (2012-2016)	142
Danilly Ramos	

DIRECTORIO

Editor

Ariel E. Lugo

Editor de producción

Pamela Navarro

Oficial administrativo

Shirley Prado Sanabria

Revisores de artículos

Elsie Rivera Ocasio

Ariel E. Lugo

Lia Sánchez

Neftali Ríos

Diseño y diagramación

Pascual Estrada

ISSN: 1940-1148

Río Piedras, Puerto Rico

EDITORIAL

Con este volumen de *Acta Científica* completo mi labor como editor de la revista y le paso la responsabilidad al Dr. Neftalí Ríos, profesor de ecología de la Universidad de Puerto Rico en Humacao. En este número también comienza una transición en el nombre, aspecto, contenido y funcionamiento de la revista que el Dr. Ríos explicará en el próximo volumen. Sin embargo, el lector notará que el estilo y montaje de *Acta* es distinto al de los volúmenes anteriores y eso se debe a que fue producido por colegas en Caracas, Venezuela, bajo la dirección de Pamela Navarro. El Dr. Ernesto Medina, quien será miembro de la nueva junta editorial de *Acta* bajo el Dr. Ríos, estableció el enlace con el grupo de Venezuela, quienes anteriormente editaron la revista *Interciencia*. El grupo venezolano junto al Dr. Ríos y la nueva junta editorial, mejorarán la presentación, a la vez que expandirán su temática y relevancia a los lectores y la sociedad caribeña. Para mí ha sido un gran privilegio editar *Acta* por más de 30 años y continuaré contribuyendo como autor y allegado a la nueva junta editorial. De igual manera, el Servicio Forestal de los Estados Unidos de América continuará apoyándola de múltiples maneras, ya que publicar una revista de ciencias es un asunto complejo que se nutre de muchas y diversas acciones.

Este número de *Acta* cuenta con trabajos de estudiantes universitarios tanto de Puerto Rico como de los Estados Unidos de América, una contribución de la República Dominicana, una

narración sobre los efectos del huracán María en un barrio de Añasco y el índice de los últimos cinco volúmenes de la revista. En fin, el contenido es típico de *Acta*. Le damos las gracias a los autores colaboradores y en especial a Danilly Ramos, Secretaria Administrativa de la Universidad de Puerto Rico, por producir el índice y mantener viva por 30 años esta sección de *Acta*.

Este volumen contiene dos innovaciones al contenido que sin duda serán ampliadas en el futuro de la revista. La primera de ellas, es la adición de una serie de resúmenes de diversas actividades. Se incluye una síntesis de reuniones importantes que normalmente se hacen en Puerto Rico, con el propósito de preservar el contenido de las mismas para el beneficio de aquellos que no tuvieron la oportunidad de participar. Por ejemplo, se resumen algunas de las presentaciones que se ofrecieron en el simposio que celebró los 30 años del programa de investigaciones ecológicas a largo plazo en El Yunque, los 75 años del Colegio de Ciencias Naturales de la Universidad de Puerto Rico, y los 100 años del Servicio Forestal de Puerto Rico. También se resume una actividad comunitaria en Palmas del Mar.

La segunda innovación es el uso expandido de fotografías a color para ilustrar el texto de la revista. Sin duda, el nuevo montaje de *Acta* resulta en una presentación profesional y atractiva.

Espero que la disfruten, gracias por los pasados 31 años y continúen apoyando a *Acta Científica*.

Ariel E. Lugo

Río Piedras, PR.

TEMPORAL TRENDS OF STRUCTURE, SPECIES COMPOSITION, AND FUNCTIONING IN AN URBAN FOREST

Robert L. Spicer and Ariel E. Lugo

Department of Biological Science, Rowan University 201 Mullica Hill Rd, Glassboro, NJ 08028
and
International Institute of Tropical Forestry, USDA Forest Service
1201 Ceiba St., Jardín Botánico Sur, Río Piedras, PR 00926-1115

Abstract

We conducted a follow-up study of an urban forest that had been studied since 2001, which gave us the opportunity to observe forest responses to a hurricane and community management over a period of 16 years (2001 to 2017). We asked: What are the long-term responses of structural, species composition, and functional traits of this urban forest, and which of those responses could be attributed to forest age, hurricane passage, or management by the community that oversees the forest? We found that in 2017, the average diameter at breast height (dbh), height, and basal area of tree stems in this 1.0785-ha forest were 29.4 cm (± 1.4 [standard error of the mean], $n = 277$), 13.5 m (± 0.4 , $n = 277$), and 1,102 cm² (± 127 , $n = 277$), respectively. Forest basal area was 28.45 m²/ha, tree density was 159 trees/ha, and stem density was 257 stems/ha. Five new tree species regenerated naturally increasing species richness of the forest from 43 species in 2015 to 48 species in 2017. Average stem dbh, basal area, height, volume, biomass, and carbon growth rates were 0.68 cm/yr (± 0.10 , $n = 236$), 50 cm²/yr (± 10 , $n = 236$), 0.06 m/yr (± 0.07 , $n = 236$), 60,064 cm³/yr (± 0.02 , $n = 236$), 38 kg/yr (± 11 , $n = 236$), and 19 kgC/yr (± 5 , $n = 236$), respectively. The volume of the forest was 261 m³/ha with a growth rate of 14.3 m³/ha.yr. Aboveground biomass was 148 Mg/ha and a growth of 10.7 Mg/ha.yr since 2015. These biomass values are equivalent to 74 MgC/ha and 4.5 MgC/ha.yr for carbon storage and sequestration, respectively. Stem ingrowth was 5 percent/yr and tree ingrowth was 7 percent/yr. More dead stems were found than dead trees. Stems had a mortality rate of 4 percent/yr and trees had a mortality rate of 3 percent/yr. Three years after the passage of hurricane Georges, the forest had its lowest structural development, including its lowest height and basal area, but afterwards the forest recovered by exhibiting fast rates of growth in all parameters and tending to stabilize fifteen years after hurricane passage. High aboveground wood biomass productivity and growth rates reflect the young age (29 years) of the forest. Humans manage the understory of the forest and keep regeneration low. Nevertheless, the forest continues to produce ingrowth in excess of tree mortality. The species richness, importance value, and dominance in this forest respond to human activities and contrast with those of novel urban forests that regenerated without human intervention.

Key words tree volume, tree growth, wood biomass productivity, hurricane effects, species importance values, volcanic soil, Caribbean forests, tree mortality, tree ingrowth.

INTRODUCTION

The Caribbean island of Puerto Rico has 98 per cent of its population living in towns and cities, and those urban locations harbor about 27,311 ha of urban forests (Martinuzzi et al. 2007). Urban forests are vital resources for urbanites as they provide multiple ecological services (Perring et al. 2013) that improve the life quality and health of people such as mitigating air pollution or cooling the air (Nowak et al. 2014). Urban forests are also regarded for their aesthetic and recreational qualities. Ecologically, urban forests are notable for their species composition, which includes a large proportion of introduced species. The new combinations of introduced and native species that are typical of urban forests have led ecologists to classify them as novel forests (Hobbs et al. 2013). Novel forests are increasing in importance in the Anthropocene Epoch (Ellis 2015) and it is critical to increase the ecological understanding of these types of ecosystems. One could argue that by improving the understanding of novel urban forests one could simultaneously advance ecological understanding of novel forests in general while also contributing to improve the lives of people.

Compared to rural forests, urban forests are not studied as frequently, and when urban forests are studied, the focus is usually on short-term phenomena, such as their structure and species composition (e.g., Lugo et al. 2001). Thus, we have little understanding of the long-term development of urban forests and their response to disturbances, both anthropogenic and non-anthropogenic. Urban forests are exposed to non-anthropogenic disturbances such as hurricanes but they are also exposed to anthropogenic disturbances that occur in cities such as heat island effects. Further, under urban conditions people intervene with forests and alter forest structure, species composition, and functioning. Long-term studies are needed to begin to categorize urban forest responses to both anthropogenic and non-anthropogenic disturbances.

We conducted a follow-up study of an urban forest that has been studied since 2001, which gave us the opportunity to observe forest responses to a hurricane and community management over a period of 16 years (2001 to 2017). Our study adds another set of data to the four sets collected previously. We asked: What are the long-term responses of tree species density, structural composition, and functional traits of this urban forest, and which of those responses is a result of forest age, hurricane passage, or forest management?

METHODS

Site Description

This study was conducted in the Dr. Julio Víctor Rivera urban forest designated in 2016 as a municipal park (Fig. 1). Previously the site was known as the *Parque Central*. The forest has a unique species composition resulting from community planting of trees in 1988 on a grassy vacant lot. For many, this forest in the Río Piedras sector of San Juan, Puerto Rico is used for recreational activities and functions essentially as a park. However, its forest structure and past studies show that it also functions as a forest exhibiting such forest processes as canopy closure, forest physiognomy, and tree regeneration and growth (Román Nunci et al. 2005, Morales Nieves and Lugo 2015). The structure and species composition of the forest arose from community members planting seeds and seedlings from local nurseries lead by Dr. Julio Víctor Rivera. The forest covers an area of 1.0785 ha, and was first studied in 2001 (Román Nunci et al. 2005). Trees with diameter at breast height (dbh at 1.3 m) ≥ 4 cm were identified to species, tagged, and measured. Main branches within dbh height were also tagged and measured. All tagged stems were re-measured in 2005, 2007, 2015 (Morales Nieves and Lugo 2015), and 2017 (this study). The forest grows on soil of the Vega Alta soil series. It is a volcanoclastic ultisol classified by the USDA Natural Resources Conservation Ser-



Figure 1. Google image of the community (Urbanización El Paraíso and Río Piedras Heights) where the Dr. Julio Víctor Rivera forest is located within the Río Piedras sector of San Juan, Puerto Rico. The community is outlined with a red line and an arrow points to the study forest. The Río Piedras River and its riparian zone is the water body to the right (east) of the community.

vice as suborder Udults, greatgroup Hapludults, subgroup Typic Hapludults, and family Fine, kaolinitic, isohyperthermic Typic Hapludults. The soil profile was not altered by the construction of the streets and houses in its periphery. The climate is in the subtropical moist forest life zone of Holdridge (1967) with a mean annual rainfall of 1755 mm and mean annual temperature of 25.7 C.

Tree Measurements

This study was conducted during June 2017, when all of the previously tagged trees were located and measured. Trees that remained alive were retagged if the prior tag was missing or damaged, otherwise

the old tag remained. The trees that were recorded as dead in previous studies that happened to be alive in 2017 were measured and tagged. Trees that were standing dead were retagged and noted as such. Also, trees that were recorded as dead but still had standing remains were noted as deceased, measured, and tagged as standing dead trees. A LaserAce® Hypsometer was used to determine the height of each tree including the height of main stems. A diameter tape was used to measure the dbh. Due to multiple stem branching at low heights, stem dbh was taken under the branch split for more accurate measurements. If a tree had multiple branches coming from the main stem at 1.3 m height, they were tagged and measured as long as they had a dbh of ≥ 4 cm. Lastly, new trees

(ingrowth) within the forest were identified to species and tagged. For an ingrowth to be identified and tagged it had to have a minimum dbh of 4 cm.

The total wood volume of five trees was estimated by measuring the diameter and length of all branches and stems that exceeded 4 cm in diameter. These data were used to estimate total forest volume (below). The trees were selected because of their large size, and potential influence on the volume estimate for the whole forest (Morales Nieves and Lugo 2015). Measurements of branch length and diameter were done, respectively, using a LaserAce® Hypsometer and a diameter tape or pentaprism depending on the height of the branches. We developed a diagram of the whole tree branching structure to help guide the measurements (Figure 5 in Morales Nieves and Lugo 2015). The length of branches was measured from where the branches split individually from each other. The diameter of branches was taken in the middle of the branch to account for tapering. Trees had branches high in the canopy that were not measurable due to low visibility from the ground.

Analysis

Data were entered and analyzed using Excel spreadsheets and descriptive statistical tests. Basal area was calculated for each tree including large stems at dbh using the formula $\text{Basal Area} = \pi(\text{dbh}/2)^2$. The sum of the basal area of all trees gives the total basal area of trees in the forest. This value divided by the area of the forest results in the forest basal area. The basal area was also estimated by species summing the basal area of all individuals within a species. The density of trees in the forest was obtained by dividing the number of trees by the area of the forest. Stem density was calculated by species and by forest area by respectively dividing the total number of stems per species and total number of stems in the forest by the area of the forest.

To calculate the Importance Value (IV) of species, trees were sorted by species and the species relative basal area and relative density were calculated. The

relative basal area of each tree species was calculated by dividing the basal area of the species by the basal area of all trees. The relative tree density of the species was calculated by dividing the tree density of a species by the tree density of the forest. Adding relative density to relative basal area and dividing the sum by two yielded the IV of the species in percent.

Wood volume was calculated in two separate ways. First, we used the formula $\text{Volume} = (\text{Basal Area}) (\text{Height})$. This method assumes that the tree is cylindrical. Second, we corrected the first estimate with a correction factor derived from the nine trees for which we had data for total stem and branch volume as described earlier. The correction factor was the ratio of actual tree volume to tree volume estimated with the formula for a cylinder. We also corrected the wood volumes of Morales Nieves and Lugo (2015) with our correction value to make them comparable to ours.

The corrected volume estimates were used to estimate tree biomass by multiplying tree wood density by tree volume. Species wood density was obtained from Reyes et al. (1992) and Francis and Lowe (2000). For those tree species for which we could not find a wood density, we used the average density for moist tropical forests (e.g., 0.60 g/cm³, Reyes et al. 1992). To estimate carbon content in the biomass, we multiplied the biomass estimate by 0.5. Wood volume, biomass, and carbon content were expressed by species and forest area as explained above for basal area and tree density.

Tree growth rate was calculated for the 2.33 yr interval between 2015 and 2017. For each stem, the annual growth was estimated by the respective difference in dbh, height, basal area, volume, biomass, and carbon between 2015 and 2017. These growth rates were also expressed by calculating the means of individuals of each species. Forest level growth in all parameters contributing to forest above ground net primary productivity (e.g., diameter, height, volume, and mass growth), was obtained by their difference

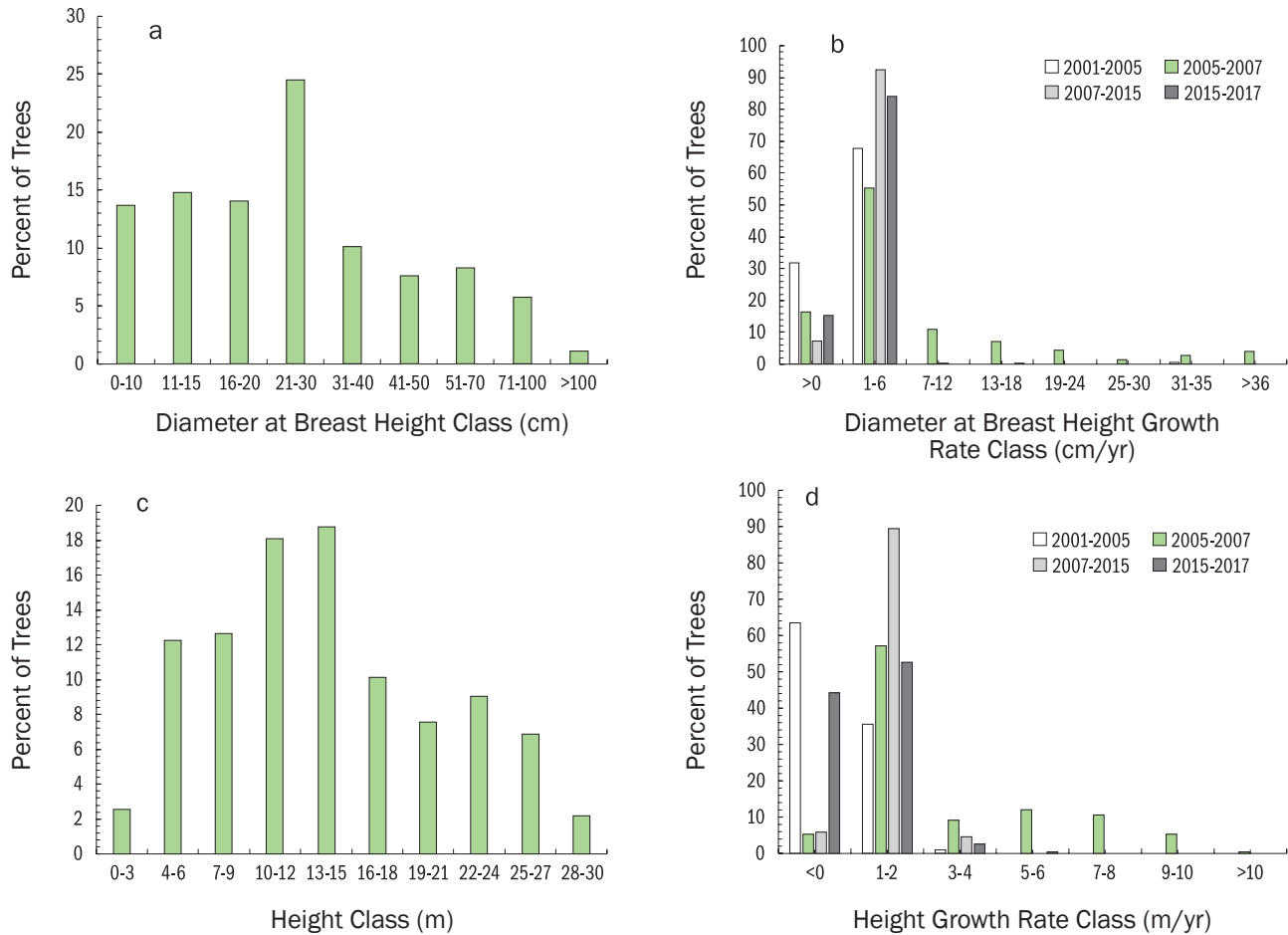


Figure 2. Histograms of diameter at breast height (dbh) (a) and height (c) classes in 2017, and histograms of rates of diameter growth (b) and height growth (d) for four time intervals between 2001 and 2017 in the Dr. Julio Víctor Rivera forest. Data are for 277 stems ≥ 4 cm dbh.

between 2015 and 2017 divided by the area of the forest and the time elapsed between measurements.

Mortality is the number of trees or stems that died between 2015 and 2017. Dividing the number of trees or stems dying during the study interval by the number of trees or stems alive at the beginning of the time interval and by the time interval between 2015 and 2017 (2.33 yr) yields the mortality rate expressed as percent per year. Ingrowth is the number of trees that reached the minimum dbh (4 cm) during the 2015 to 2017 interval. By dividing the total number of ingrowth trees or stems by the total number of trees or stems alive in the forest at the beginning of the time interval gives the percent of ingrowth. Dividing the percent of ingrowth of trees or stems by the time in-

terval of 2.33 yr results in ingrowth rate in percent per year. Trees that were not recorded in prior studies but had a dbh of ≥ 4 cm were tagged, measured, and noted as ingrowth trees.

RESULTS

Forest Structure

The average dbh of tree stems in this forest was 29.4 cm (± 1.4 [standard error of the mean], $n = 277$). The largest stem was 174 cm while the smallest was 4.1 cm. The majority of stems (24 percent) fell within the 21 to 30 cm dbh range (Fig. 2a). The average stem height was 13.5 m (± 0.4 , $n = 277$) with the tallest tree being 28 m tall and the shortest being 1.3 m. Stem

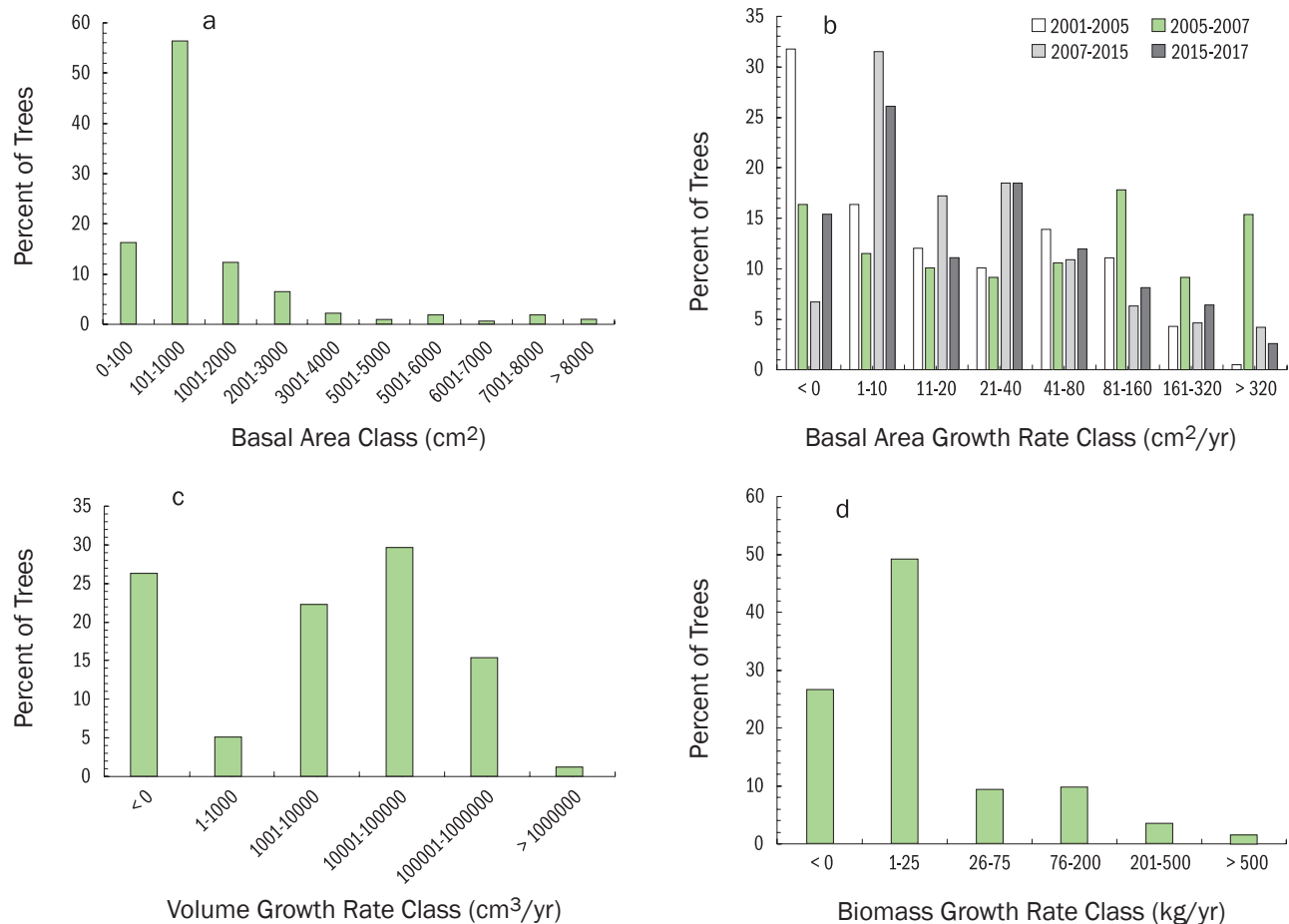


Figure 3. Histogram of basal area classes (a) in 2017, and volume growth rate (c), and biomass growth rate (d) classes for the 2015 to 2017 interval, and for basal area growth rate (b) classes for four time intervals between 2001 and 2017 in the Dr. Julio Víctor Rivera forest. Data are for stems ≥ 4 cm diameter at breast height and include 277 stems for (a) and 236 stems for (b), (c), and (d).

height between 10 and 15 m made up 37 percent of the stems in the forest, 18 percent of stems belonging to the 10 to 12 m height class, and 19 percent of stems belonging to the 13 to 15 m height class (Fig. 2c). Average stem basal area was $1,102 \text{ cm}^2$ (± 127 , $n = 277$) with most stems belonging to the 101 to $1,000 \text{ cm}^2$ basal area class (Fig. 3a). The forest basal area was $28.45 \text{ m}^2/\text{ha}$. Tree density was calculated at 159 trees/ha and stem density was calculated at 257 stems/ha (Table 1).

Species Composition and Importance Value

Five new tree species were identified in the forest, increasing species richness from 43 species in 2015 to 48 species in 2017. The hybrid mahogany, *Swietenia*

mahagoni x macrophylla, continues to be the species with the highest IV (Table 1). The species with the second highest IV, *Pterocarpus indicus*, had an IV of 8 percent. More than half of the species had an IV lower than 1 percent, and 8 species had the lowest IV sharing a value of 0.3 percent.

Tree Growth, Ingrowth, and Mortality

The average stem dbh growth rate was 0.68 cm/yr (± 0.10 , $n = 236$), the highest rate being 17.59 cm/yr and -4.89 cm/yr being the smallest. Seven stems had not grown in diameter from 2015 to 2017 (growth rate of 0 cm/yr). The dominant diameter growth class was the 1 to 6 cm/yr class (Fig. 2b). Stem basal area growth rate had an average of 50

Table 1.

Mean diameter at breast height (Dbh) and height plus or minus one standard error of the mean, basal area and tree and stem density, and Importance Value (IV in percent) by species in the Dr. Julio Víctor Rivera urban forest in San Juan, Puerto Rico. Data corresponds to 2017. The number of trees for each species (n) is in parenthesis after the name of the species.

Species	Dbh (cm)	Height (m)	Basal Area (m ² /ha)	Density		IV
				(stem/ha)	(tree/ha)	
<i>Swietenia macrophylla</i> x <i>mahagoni</i> (32)	58.6 (± 4.9)	19.1 (± 0.9)	9.779	29.7	25.0	25.1
<i>Pterocarpus indicus</i> (24)	35.9 (± 5.1)	21.0 (± 1.5)	3.320	22.3	7.4	8.2
<i>Tabebuia heterophylla</i> (21)	23.4 (± 1.9)	14.1 (± 0.9)	0.955	19.5	9.3	4.6
<i>Ficus benjamina</i> (1)	174.0	27.7	2.204	0.9	0.9	4.2
<i>Lagerstroemia speciosa</i> (20)	29.3 (± 2.5)	12.1 (± 0.8)	1.425	18.5	4.6	4.0
<i>Terminalia catappa</i> (10)	26.2 (± 2.5)	11.7 (± 1.3)	0.540	9.3	9.3	3.9
<i>Swietenia mahagoni</i> (6)	53.1 (± 7.3)	23.2 (± 1.7)	1.349	5.6	4.6	3.8
<i>Areca catechu</i> (11)	13.6 (± 0.7)	8.1 (± 0.8)	0.153	10.2	10.2	3.5
<i>Cordia sebestena</i> (12)	17.2 (± 1.2)	5.9 (± 0.6)	0.273	11.1	9.3	3.4
<i>Tabebuia rosea</i> (6)	40.2 (± 6.9)	20.1 (± 3.0)	0.813	5.6	5.6	3.2
<i>Roystonea borinquena</i> (6)	38.4 (± 4.3)	17.3 (± 2.0)	0.685	5.6	5.6	3.0
<i>Callistemon citrinus</i> (16)	18.6 (± 1.6)	8.0 (± 0.8)	0.445	14.8	6.5	2.8
<i>Swietenia macrophylla</i> (8)	30.9 (± 7.3)	16.3 (± 1.7)	0.773	7.4	4.6	2.8
<i>Melaleuca quinquenervia</i> (10)	26.6 (± 4.3)	12.7 (± 1.6)	0.637	9.3	4.6	2.6
<i>Peltophorum pterocarpum</i> (4)	46.8 (± 20.5)	19.3 (± 5.1)	1.005	3.7	1.9	2.4
<i>Eucalyptus robusta</i> (4)	44.6 (± 9.5)	22.1 (± 4.1)	0.658	3.7	2.8	2.0
<i>Delonix regia</i> (6)	41.4 (± 4.0)	15.3 (± 0.7)	0.785	5.6	1.9	2.0
<i>Coccoloba uvifera</i> (7)	7.2 (± 0.6)	5.3 (± 0.9)	0.027	6.5	4.6	1.5
<i>Muntingia calabura</i> (5)	5.9 (± 0.6)	4.6 (± 0.5)	0.013	4.6	4.6	1.5
<i>Ceiba pentandra</i> (1)	85.0	17.1	0.531	0.9	0.9	1.2
<i>Cassia fistula</i> (6)	21.0 (± 3.1)	12.6 (± 2.2)	0.214	5.6	1.9	1.0
<i>Brassia actinophylla</i> (3)	9.3 (± 2.6)	4.1 (± 1.5)	0.174	2.8	1.9	0.9
<i>Montezuma speciosissima</i> (7)	16.0 (± 2.8)	13.9 (± 0.9)	0.155	6.5	1.9	0.9
<i>Mangifera indica</i> (2)	25.7 (± 17.6)	9.7 (± 2.7)	0.141	1.9	1.9	0.8
<i>Cassia javanica</i> (4)	20.3 (± 1.8)	14.0 (± 1.9)	0.123	3.7	1.9	0.8
<i>Tabebuia glomerata</i> (7)	15.0 (± 1.3)	11.6 (± 1.2)	0.120	6.5	1.9	0.8
<i>Ficus lutea</i> (2)	39.2 (± 13.4)	17.1 (± 0)	0.249	1.9	0.9	0.7
<i>Annona reticulata</i> (2)	10.6 (± 4.4)	6.3 (± 0.7)	0.019	1.9	1.9	0.6
<i>Calophyllum calaba</i> (2)	9.7 (± 2.6)	7.2 (± 0.2)	0.015	1.9	1.9	0.6
Unknown (2)	5.5 (± 1.8)	4.3 (± 0.1)	0.005	1.9	1.9	0.6
<i>Tamarindus indica</i> (4)	23.5 (± 3.5)	12.1 (± 0)	0.171	3.7	0.9	0.6

cm²/yr (± 10 , n = 236) with the highest being 1,782 cm²/yr and the lowest being a net loss (-315 cm²/yr). The dominant basal area growth class was the 1 to 10 cm²/yr (Fig. 3b). The average tree height growth rate was negligible 0.06 m/yr (± 0.07 , n = 236). Among the positive height growth rate values, the average height growth rate was 0.7 m/yr (± 0.1 , n = 130). The negative height growth values had an average of -0.8 m/yr (± 0.1 , n = 103). Only 1 tree had a neutral height growth rate of 0 m/yr. The 1 to 2 m/y height growth class was the dominant height growth class (Fig. 2d).

The average stem volume growth rate was calculated at 60,064 cm³/yr ($\pm 18,762$, n = 236) with a maximum of 2,402,125 cm³/yr and a minimum of -1,708,392 cm³/yr. The dominant volume growth class was the 10,000 to 100,000 cm³/yr class (Fig. 3c) but an equally large number of trees lost volume during the measurement interval. Stem biomass growth rate had an average of 38 kg/yr (± 11 , n = 236) with the largest at 1,487 kg/yr and the smallest at -547 kg/yr. The dominant stem biomass growth class was the 1 to 25 kg/yr (Fig. 3d). Lastly, the stem carbon storage rate average was 19 kgC/yr (± 5 , n = 236) with the largest stem growth rate being 744 kgC/yr and the smallest being -273 kgC/yr. The histogram of carbon accumulation in stems

Table 1. (continuation)

<i>Chrysophyllum cainito</i> (4)	16.9 (± 3.6)	8.9 (± 2.8)	0.095	3.7	0.9	0.5
<i>Melicoccus bijugatus</i> (1)	33.7	13.9	0.083	0.9	0.9	0.4
<i>Syzigium malaccense</i> (1)	33.2	15.2	0.080	0.9	0.9	0.4
<i>Tabebuia aurea</i> (1)	32.2	11.2	0.075	0.9	0.9	0.4
<i>Cananga odorata</i> (1)	29.7	8.5	0.064	0.9	0.9	0.4
<i>Spathodea campanulata</i> (1)	28.0	14.1	0.057	0.9	0.9	0.4
<i>Petitia domingensis</i> (1)	24.0	15.7	0.042	0.9	0.9	0.4
<i>Grevillea robusta</i> (1)	23.6	10.8	0.041	0.9	0.9	0.4
<i>Pimenta racemosa</i> (3)	12.6 (± 3.1)	12.2 (± 0)	0.039	2.8	0.9	0.4
<i>Manilkara bidentata</i> (1)	19.6	8.1	0.028	0.9	0.9	0.3
<i>Cecropia schreberiana</i> (1)	19.1	16.9	0.027	0.9	0.9	0.3
<i>Cocos nucifera</i> (1)	17.2	9.4	0.022	0.9	0.9	0.3
<i>Psidium guajava</i> (2)	10.9 (± 0.7)	4.8 (± 0)	0.017	1.9	0.9	0.3
<i>Crescentia cujete</i> (1)	12.1	7.0	0.011	0.9	0.9	0.3
<i>Guaiacum officinale</i> (2)	8.1 (± 2)	3.2 (± 0)	0.010	1.9	0.9	0.3
<i>Talipariti tiliaceum</i> (3)	5.4 (± 0.1)	7.5 (± 0)	0.006	2.8	0.9	0.3
<i>Andira inermis</i> (1)	5.2	3.8	0.002	0.9	0.9	0.3
Sum/Mean (48)	28.0 (± 3.9)	12.2 (± 0.8)	28.4	257	159	100

cus benjamina had the highest average aboveground biomass productivity (Table 2). Notably, the rank order of species by other growth parameters (e.g., diameter, basal area, height, and volume) was different than the rank order based on aboveground biomass. For example, *Mangifera indica* had the fastest diameter growth rate but ranked seventh in aboveground biomass productivity, and *Ficus benjamina* had the fastest volume growth, but negative height growth.

DISCUSSION

Species Richness and Dominance

As of 2017, our study site had 171 trees and 277 stems belonging to 48 species (Table 1). Forest composition has become more diverse with the addition of five tree species since 2015. However, the dominant tree still remains *Swietenia mahagoni x macrophylla*. There were 25 trees and 30 stems per hectare of hybrid mahogany, a stem density and IV more than three times higher than the second-most important species. Hybrid mahogany was the most important species because the community initially planted more mahogany trees than other species. This is an example of the role of humans in determining urban forest species composition and dominance. Since the original planting, new species have regenerated without the aid of humans. This flux of species is limited by the periodic weeding of the forest understory.

We compared the species dominance of our study forest with that of the Bosque del Nuevo Milenio (Bosque Nuevo). Both forests are novel urban forests

has the same frequencies as the biomass growth histogram in Fig. 3d, but the classes are half the values reported for aboveground biomass.

A total of 25 trees and 31 stems were identified as ingrowth since 2015, including three trees not recorded in prior studies despite their size. Stem ingrowth was 5 percent/yr and tree ingrowth was 7 percent/yr. More dead stems (23) were found than dead trees (10). While some trees remained alive, some of their stems did not. Stems had a mortality rate of 4 percent/yr and trees had a mortality rate of 3 percent/yr.

Aboveground Biomass Productivity

The wood volume of the forest was 261 m³/ha with a growth rate of 14.3 m³/ha.yr since 2015. Aboveground wood biomass was 148 Mg/ha with a biomass productivity of 10.7 Mg/ha.yr since 2015. These wood biomass values are equivalent to 74 MgC/ha and 4.5 MgC/ha.yr for carbon storage and sequestration, respectively. Three species (*Swietenia mahagony*, *Peltophorum pterocarpum*, and *Fi-*

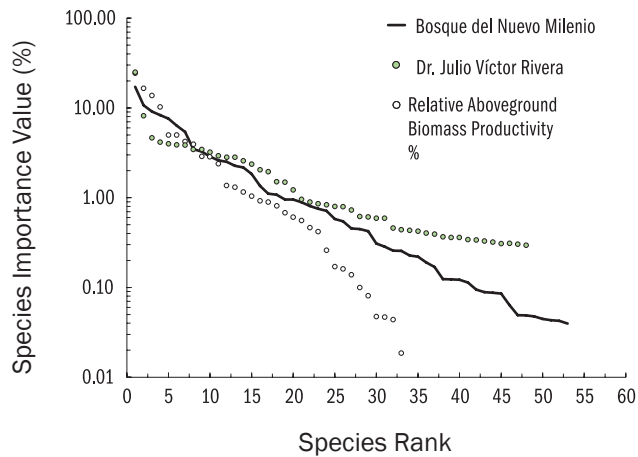


Figure 4. Importance value curves for two novel urban forests in San Juan, Puerto Rico. Data for Bosque del Nuevo Milenio corresponds to 2015, while the data for the Dr. Julio Víctor Rivera forest corresponds to 2017. The third curve is the ranking of species in the Dr. Julio Víctor Rivera forest by relative aboveground stem wood biomass productivity.

(Lugo et al. 2005) and similar areas were sampled: 1.0785 and 1.016 ha, respectively. The shape of the IV curve of Bosque Nuevo followed a gradual drop from the most important species to the least important (Fig. 4). Our study forest had an initial steep drop followed by a gradual change in the middle leading into an almost horizontal line in the latter half of the curve. The differences of the forest IV curves reflect the species composition and dominance of each forest. The IV of the top ranked species in our forest, was higher than the top ranked species in Bosque Nuevo. However, the next six species in our forest had lower IV than the corresponding species in Bosque Nuevo and most of the remaining species in our forest had higher IV's than equally ranked species in Bosque Nuevo.

Bosque Nuevo has more species (reflected in the longer tail of its IV curve) along with a more even distribution of forest resources among species than the Dr. Julio Víctor Rivera forest. Bosque Nuevo regenerated naturally following the Gaussian principle in which each species has its own niche volume but the availability of niche space is limited leading to competition (Whittaker 1970). The IV curve for Bosque

Nuevo reflects the results of the expected species competition following the niche pre-emptive hypothesis where the availability of niche volume is determined by the amount of community resources used and community space taken by a dominant species, leaving unused resources to the less important species. Resources not used by the dominant species are used by a second species and what is not used by the second species is used by a third species, and so on. Our study forest was established by anthropogenic means. The community that planted the Dr. Julio Víctor Rivera forest favored certain species over others explaining the species dominance in the curve. In contrast, Bosque Nuevo was established not through anthropogenic means, but through non-anthropogenic succession facilitated by animals and wind. The enabling of regeneration by humans or by other organisms is a vital difference between these two urban forests.

The ranking of species by the rate of aboveground biomass production resulted in a different curve and different ranked positions of species than when species were ranked by IV (compare the ranked species lists in Tables 1 and 2). For example, the species with the highest IV ranked fourth in terms of relative primary productivity of biomass. And the most productive species ranked second in height and basal area growth and seventh in terms of IV. The ranking by average aboveground biomass productivity does not compare the species by their occupation of space, as does the IV. Instead, the comparison is based on their relative use of material resources (water and nutrients) to fix carbon. This comparison results in a dramatic reduction in the relative ranking of most of the species in our study site. Only eleven tree species maintain a similar level of importance when ranked by biomass productivity or IV (Fig. 4). The top four species in terms of biomass productivity ranked higher relative to the productivity of the stand than they did relative to tree density and basal area. These top productivity species were large trees with access to canopy and street sidelight.

Table 2.

Tree species with the ten fastest mean growth rate parameters measured in the Dr. Julio Víctor Rivera urban forest between 2015 and 2017. Species are arranged from highest to lowest aboveground biomass productivity. The number of trees measured by species is in parenthesis after the species.

Species	Diameter (cm/yr)	Height (m/yr)	Basal Area (cm ² /yr)	Volume (m ³ /yr)	Biomass (kg/yr)
<i>Swietenia mahagoni</i> (6)	3.9	1.0	367.3	0.463	347
<i>Peltophorum pterocarpum</i> (4)	1.3	2.0	55.5	0.384	238
<i>Ficus benjamina</i> (1)	1.7	-0.3	431.1	0.304	198
<i>Swietenia macrophylla</i> x <i>mahagoni</i> (31)	1.1	0.1	117.8	0.267	147
<i>Delonix regia</i> (6)	0.5	0.9	39.2	0.090	72
<i>Mangifera indica</i> (1)	2.8	0.8	175.9	0.138	72
<i>Eucalyptus robusta</i> (4)	0.6	-0.4	87.3	0.118	60
<i>Melicoccus bijugatus</i> (1)	0.9	0.8	47.1	0.058	57
<i>Swietenia macrophylla</i> (5)	1.6	0.3	89.3	0.099	41
<i>Roystonea borinquena</i> (4)	0.1	1.3	4.8	0.103	41

Forest Structure

At the time of our measurements, the study forest was 29 years old. The structural characteristics of the forest reflect dominant size classes due to the fact that the forest was established through plantings in a relatively short time, i.e., most trees have similar age. For example, we found dominant size classes for diameter (21 to 30 cm; Fig. 2a), height (10 to 15 m; Fig. 2c), and basal area (101 to 1,000 cm²; Fig. 3a). We interpret these dominant size classes as reflecting the rapid development of a cohort of planted trees. If we divide these dominant structural parameters by the age of the forest, we find growth rates for dbh and height that exceed the average rates for the whole forest reported above. For example, 0.72 to 1.03 cm/yr dbh growth rate for the dominant diameter size class vs. 0.67 cm/yr average for all trees. Trees in the dominant size classes are developing faster in terms of dbh and height than do the average trees of the forest. With regards to basal area, volume, and biomass, trees in this dominant size class are growing below the average rate of the stand. Instead, the larger trees are the ones growing at above average rates underscoring the importance of large trees for the production of biomass and sequestration of atmospheric carbon (Brown and Lugo 1992). These large trees, although fewer in density, consume more resources and occupy

more space in the forest. They include trees that were planted in optimal locations, such as the mahoganies, and other species used for timber, such as the *Eucalyptus robusta* that was the tallest tree in the forest (Table 2).

Forest Volume Estimate

Morales Nieves and Lugo (2015) noted that trees in urban forests branched to a greater degree than trees growing in rural forests where they compete for light reaching the forest from the top of the canopy. The mechanism for urban branching involves the abundant sidelight from surrounding streets and lots, which stimulates stem and branch growth towards the light source. This leads to the large number of stems in the Dr. Julio Víctor Rivera forest (1.6 stems/tree). Morales Nieves and Lugo (2015) realized that the allometric equation for estimating tree volume had to be corrected for this branching effect and they developed a correction factor of 0.80 by measuring the total volume of four large trees and relating that volume to the estimated volume through allometry. We improved the volume estimate correction from 0.80 to 0.45 percent, a reduction of 65 percent from the cylindrical estimate, by adding five additional trees to the correction database. We also established that the magnitude of the correction factor is a function of the volume of the main stem before it branches. We found a significant inverse relation ($p < .05$, $R^2 = 0.56$) between the volume of the branchless portion of the main stem and the correction factor. The resulting volume estimates with our correction factor reduced the estimates in Morales Nieves and Lugo (2015) and result in values that are aligned with those in the literature for tropical secondary forests (Lugo 1992). The volume estimation formula for urban forests need to consider branching, and where branching is abundant, a correction such

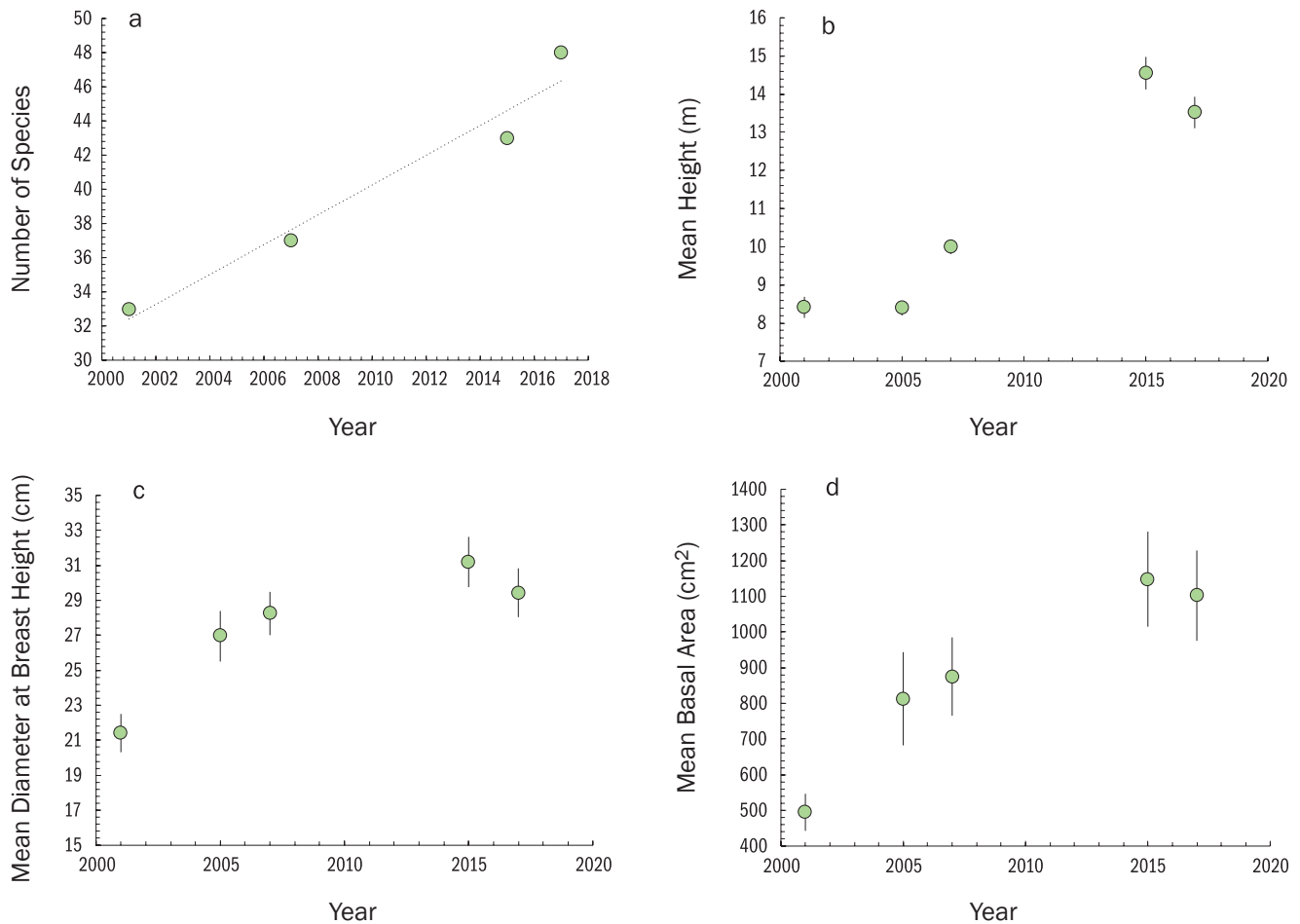


Figure 5. Scatter plot of the number of tree species per hectare (a), mean stem height (b), mean stem diameter (c) at breast height (dbh), and mean stem basal area (d) at dbh over time for the Dr. Julio Víctor Rivera forest. The trend line in (a) was significant at $p < .05$, $R^2 = 0.95$, $y = 0.872x - 1712.4$. Vertical lines are the standard error of the mean with n ranging between 200 and 277.

as the one we produce should be developed. We recommend that more trees be added to our correction estimate to further refine volume estimates in this and other urban forests.

Hurricane Response

The Dr. Julio Víctor Rivera forest was established in 1988 making it ten years old when hurricane Georges affected the forest. Taller trees, trees with spread out canopies, and isolated trees were all vulnerable to the effects of hurricane winds. Severe hurricanes can change species composition, forest structure, species dominance, and increase ingrowth and mortality rates (Lugo 2008). Although disturbances such as

hurricanes can cause major changes to forests, this does not mean they are non-beneficial events because forests usually grow faster after the initial negative effects of hurricane winds (Lugo 2008). For example, the lowest and the most negative growth rates for height (Fig. 2d), dbh (Fig. 2b), and basal area (Fig. 3b) predominated in the 2001 to 2005 interval. In 2001, the forest had its lowest species density (Fig. 5a) as well as the lowest mean height (Fig. 5b), dbh (Fig. 5c), and basal area (Fig. 5d). Also, the gap between successive mean dbh (Fig. 5c), and mean basal area (Fig. 5d) levels between 2001 and 2005 was high, reflecting a positive pulse in development during that time interval. This shows the forest growing rapidly after the immediate negative effects of hurricane Georges.

As the forest grew older, and 15 years after the passage of the hurricane, forest structure stabilized (Figs. 5b, c, and d), while the species richness continued to increase (Fig. 5a). The 2005 to 2007 interval had the highest tree height (Fig. 2d) growth rates. This burst of growth reflects the height growth resilience of the forest. Although the lowest mean height occurred in 2005 (Fig. 5b), the interval between 2005 and 2007 had a moderate and positive mean dbh (Fig. 2b) and basal area growth (Fig. 3b). The 2007 to 2015 interval had a declining but still positive height, dbh, and basal area growth (Figs. 2b and d, and 3b), anticipating the stabilization between 2015 and 2017, when the slowest positive growth rates occurred. As for the mean 2017 stem height (Fig. 5b), dbh (Fig. 5c), and basal area (Fig. 5d), they decreased slightly but still remain similar to 2015. This suggests the forest had stabilized structurally, but was still continuing to grow in volume and biomass (Figs. 3c and d).

Many growth parameters of our study exhibited negative or low values during the study (Fig. 2b, 3b, c and d), including notable reductions in tree height (Fig. 2d). It is normal for trees not to grow or grow slowly for periods of time or to swell or shrink depending on their water status. However, under urban conditions trees also suffer injury due to human activities and these anthropogenic events, coupled with other non-anthropogenic events, lead to slower or negative rates of tree growth. For example, hurricane wind events are known to increase the variability of tree growth and cause negative growth rates in rural forests (Lugo 2008). Although repetitive measurements of trees can introduce errors of measurement, we believe that many of the negative rates in this study are also due to structural losses to trees subjected to wind events, branch mortality and fall, and other injuries. Losses of whole tree branches, including canopy branches, and injury to stems explain some of the negative values that we observed.

Age and Management Effects

The study forest is a young forest and as such it exhibits fast growth rates and high aboveground wood biomass productivity (10.7 Mg/ha.yr) as expected of young secondary forests (Odum 1969). While it appears that the forest is stabilizing in terms of its mean stem height (Fig. 5b), dbh (Fig. 5c) and basal area (Fig. 5d), we cannot be sure of how these structural trends will continue to evolve in the future. However, hurricanes Irma and María affected the forest on September 2017, opening the canopy, downing large volumes of wood, and significantly setting back forest structure and succession.

Humans have an effect on forest functioning through the management practice of keeping the forest understory as open as possible for security reasons. People prefer an open understory to feel safe while walking through the forest. In spite of this practice, our results show higher ingrowth rates than mortality rates (7 percent per year vs. 4 percent per year). This balance in favor of ingrowth reflects the young age of the forest. Trees have not matured enough to exhibit high rates of mortality, while ingrowth is only abated by anthropogenic activity. Moreover, persistent positive ingrowth rates suggest that if unmanaged, the forest understory would experience increased tree establishment. Humans affect tree establishment but have not affected the capacity of the forest to continue to seed the understory.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Gabriella M. Morales for assistance in the field and with identification of tree species. This study was done in collaboration between the U.S. Forest Service International Institute of Tropical Forestry, Rowan University, and the University of Puerto Rico. The study is part of a larger study of urban forests sponsored by the San Juan Urban

Field Station. We also thank Dr. Eugenio Santiago Valentín for species identifications, Coralys Vicens for soil classification, and Iván Vicéns for field assistance. Ernesto Medina and Daniela Yafarr reviewed and improved the manuscript.

LITERATURE CITED

- Brown, S. and A. E. Lugo. 1992. Above ground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia* 17:8-18.
- Ellis, E. C. 2015. Ecology in an anthropogenic biosphere. *Ecological Monographs* 85:287-331.
- Francis, J.K, and C.A. Lowe. 2000. Silvics of native and exotic trees of Puerto Rico and the caribbean islands. USDA, International Institute of Tropical Forestry, Río Piedras, Puerto Rico.
- Hobbs, R. J., E. S. Higgs, and C. M. Hall, editors. 2013. *Novel ecosystems: intervening in the new ecological world order*. Wiley-Blackwell, West Sussex, UK.
- Holdridge, L. R. 1967. Life zone ecology. Tropical Science Center, San José, Costa Rica.
- Lugo, A. 2008. Visible and invisible effects of hurricanes on forest ecosystems: an international review. *Austral Ecology* 33:368-398.
- Lugo, A. E. 1992. Comparison of tropical tree plantations with secondary forests of similar age. *Ecological Monographs* 62:1-42.
- Lugo, A. E., E. Román Nunci, M. Quiñones, H. Marcano Vega, and I. Vicéns. 2005. El bosque estatal del nuevo milenio antes y después del huracán Georges. *Acta Científica* 19:83-105.
- Lugo, S., B. Bryan, L. Reyes, and A. E. Lugo. 2001. Riparian vegetation of a subtropical urban river. *Acta Científica* 15:59-72.
- Martinuzzi, S., W. A. Gould, and 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.
- Morales Nieves G.M. and A. E. Lugo. 2015. Structure, growth rates, and carbon sequestration of an urban forest in Río Piedras, Puerto Rico. *Acta Científica* 29:78-91.
- Nowak, D. J., S. Hirabayashi, A. Bodine, and E. Greenfield. 2014. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution* 193:119-129.
- Odum, E. P. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 164:262-270.
- Perring, M. P., P. Manning, R. J. Hobbs, A. E. Lugo, C. E. Ramalho, and R. J. Standish. 2013. Novel urban ecosystems and ecosystem services. Pages 310-325 in R. J. Hobbs, E. S. Higgs, and C. Hall, editors. *Novel ecosystems: Intervening in the new ecological world order*. Wiley, Oxford.
- Reyes, G., S. Brown, J. Chapman, and A. E. Lugo. 1992. Wood densities of tropical tree species. General Technical Report, USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station, New Orleans, Louisiana, USA.
- Román Nunci, E., H. Marcano Vega, I. Vicéns, G. Bortolamedi, and A. E. Lugo. 2005. El bosque del Parque Central de la urbanización El Paraíso: estructura, composición de especies y crecimiento de árboles. *Acta Científica* 19:73-81.
- Whittaker, R. H. 1970. *Current concepts in biology series communities and ecosystems*. The Macmillan Company, London, UK.

EFFECTS OF HURRICANES IRMA AND MARIA ON BIRDS IN THE FAJARDO CHRISTMAS BIRD COUNT IN NORTHEASTERN PUERTO RICO: A PRELIMINARY ASSESSMENT

Joseph M. Wunderle, Jr.

International Institute of Tropical Forestry, USDA Forest Service, Sabana Field Research Station, HC 02 Box 6205, Luquillo, Puerto Rico 00773, USA

Abstract

This report describes the effects of Hurricanes Irma (6 Sept.) and Maria (20 Sept.) in 2017 on bird populations in northeastern Puerto Rico by comparing the Fajardo Christmas Bird Count (FCBC) post-hurricane results (17 Dec. 2017) with pre-hurricane results (18 Dec. 2016). Although the search effort, measured as party hours, was less after the hurricane (45 vs. 54), both FCBCs used similar procedures and relied on volunteers who counted birds in a circular area prescribed by a diameter of 15 miles. Total numbers of individual birds decreased after the hurricanes compared to the 2016 pre-hurricane FCBC (1,934 birds vs. 2,579 birds) as did total species (82 species vs. 97 species). When corrected for search effort the number of species per party hour (ph) was identical in pre- and post-FCBCs (1.8), but the number of individuals per ph decreased by 10.2% from 2016 (47.8) to 2017 (42.9). Most aquatic species (tijeretas, pelicanos, patos, gaviotas), shorebirds (playeros, chorlos) and waders (garzas) declined as expected for species exposed to the direct effects of storm winds and rain. Indirect effects likely caused most declines of nectarivores (-310%, hummingbirds [zumbadores] and Bananaquits [Reinita Común]) as expected for species that lost their food sources (flowers). Fruits and seeds also appeared to have declined and some fruit/seed-eaters correspondingly declined as expected (White-crowned Pigeon [Paloma Cabeciblanca] -82%; Puerto Rican Bullfinch [Come ñame] -70%), perhaps due to mortality or they moved to other sites. In contrast, other fruit/seed-eaters increased (Scaly-naped Pigeon [Paloma Turca] +82%; Red-legged Thrush [Zorzal de Patas Colorados] +100%; Pearly-eyed Thrasher [Zorzal Pardo] +124%; Puerto Rican Oriole [Calandria] +140%), likely due to increased detectability as they wandered more widely than normal in search of food. Counts of insectivores increased substantially afterwards (+1862%), probably due in part to increased detectability, because some vocalized more frequently than normal and were easier to detect (Puerto Rican Woodpecker [Carpentaro] +57%) and some species normally hidden high in the canopy were easier to see once they foraged at ground level in the fallen canopy (Puerto Rican Tody [San Pedrito] +92%). The 2017 FCBC occurred when most birds were wandering widely in search of resources lost in the storm. The proportion of the declines attributable to mortality versus post-storm emigration out of the count circle is unknown. Thus the FCBC occurred during a difficult period to assess population status, which will require future FCBCs after most species have returned to a more sedentary existence.

Key words Caribbean, citizen science, cyclonic storm effects, bird populations, habitat disturbance.

Hurricanes can directly or indirectly influence bird populations and, in turn, affect some of the characteristics of island avifaunas (reviewed in Waide 1991, Wiley and Wunderle 1994, Wunderle and Wiley 1996). Direct effects of hurricanes on bird populations include mortality due to exposure to high winds, rains, and storm surges. Aquatic species, seabirds, shorebirds, and others with limited shelter options are most vulnerable to these direct effects, although landbirds, as with all birds, can be killed when blown into objects or when trees or debris fall on them. Dead birds found in the immediate aftermath of storms provide evidence of these direct effects. However, finding storm-killed birds can be difficult as carcasses may be covered in debris, washed away, or removed by scavengers. Indirect effects may be detected shortly after a storm's passage, but usually have the longest lasting influence on bird populations. These indirect effects include loss of food resources or foraging substrates, increased risk of predation, loss of nests and nest or roost sites, and microclimate changes. The short-term responses of birds to hurricane damage, at least for terrestrial species, include shifts in diet, habitats, and foraging locations. Terrestrial birds most vulnerable to hurricanes have a diet of nectar, fruit or seeds; roost or forage on large old trees; require closed forest canopy; have special microclimate requirements and/or live in a habitat in which vegetation recovers slowly. These vulnerability traits are exacerbated in small populations isolated in habitat fragments, where the risk of local extinction may be high (e.g. Puerto Rican Bullfinch [Come ñame de Puerto Rico] in St. Kitts - Wunderle et al. 1992).

In the immediate storm aftermath, avian reproduction may be curtailed or nest success decline and reproductive success may change due to mortality of breeders, which shifts population age structure. As vegetation recovers, however,

terrestrial birds may respond to outbreaks of herbivorous insects as defoliated plants leaf-out (Torres 1992) and as production of flowers, seeds, and fruits increases (Wunderle 1999). These food resource blooms, before or coinciding with the second post-hurricane breeding season, can increase avian reproductive success because of plentiful food resources enabling breeding pairs to produce multiple clutches extending the normal breeding period (Arendt 2006).

To assess the effects of hurricanes on bird populations and follow their response requires long-term monitoring of populations, both before and after the storm. Unfortunately, long-term monitoring of bird populations is rarely conducted in the Caribbean, although Puerto Rico has some of the longest-running population monitoring efforts in the region. For example, the endangered Puerto Rican Parrot (*Amazona vittata*) population in the Luquillo Mountains, has been monitored by U.S. Fish and Wildlife Service yearly since 1973 (Snyder et al. 1987) including before and after Hurricanes Hugo and Georges (e.g., Beissinger et al. 2008, White et al. 2014) and continues in the aftermath of Hurricanes Irma and Maria in 2017 (Thomas White, pers. com). In contrast to monitoring a single species population, the forest bird community including permanent and winter residents species have been monitored with mist nets and banding in the Guánica Commonwealth Forest on the island's south coast. This ongoing effort was initiated in 1972 and has been conducted for three consecutive days every January (except in 1977 and 1979) for over 45 years and has documented the effect of Hurricane Georges on the dry forest bird community (Faaborg et al. 2013).

Another form of bird population monitoring in Puerto Rico and its satellite islands are the Annual Christmas bird counts (CBC) each of which involve only a day of counting birds per year in a specified area, but after several years counting

at a site CBCs can detect some population trends. Although the regularity with which they have been conducted has varied, CBCs have been conducted in Arecibo, Cabo Rojo, Carite, San Juan, Fajardo, Vieques, and Culebra. As is standard for Christmas Bird Counts, all birds are counted during a day within a circle of 15 miles diameter. As the name suggests, the counts are limited to the holiday season between 14 December and 5 January.

CBCs conducted annually for several years, such as Cabo Rojo (27 years) and Fajardo (24 years), provide baseline data to enable before and after comparisons of the avifauna following habitat changes or perturbations. The results from each CBC are archived online and are accessible at: <http://www.audubon.org/content/american-birds-annual-summary-christmas-bird-count>.

CBCs were initiated in 1900 when ornithologist, Frank M. Chapman and others concerned about declining bird populations, conducted bird counts on the same day in 25 locations throughout North America. Chapman initiated the bird counts during the holiday period as a conservation alternative to the traditional side hunts in which hunters shot as many wild animals as they could find. Thus began the National Audubon Society's Christmas Bird Counts, which as of the 117th count (2016-17) have included over 2,500 counts with 73,153 observers throughout North America, Latin America, and the Caribbean. Results from the CBCs contribute to a long-term database on bird populations, which has been used



Figure 1. Location of the Fajardo Christmas Bird Count in northeastern Puerto Rico. The count established in 18 December 1994, has been conducted annually with volunteers every December since in a circle of 15 mile diameter as per the count guidelines established by the National Audubon Society.

by various state and federal agencies and non-government organizations as an important basis for making decisions about birds. Moreover, CBC results have provided the data for over 200 peer-reviewed scientific publications on birds.

The Fajardo Christmas Bird Count (henceforth FCBC) occurs in a 15 mi diameter circle (center at 18° 18' N 65° 42' W), which was established in northeastern Puerto Rico as a site for an annual bird population monitoring program, which includes a diversity of habitats and the major protected areas of the region (Figure 1). Protected areas within the 15 mi diameter circle include a portion El Yunque National Forest (also known as the Luquillo Experimental Forest), Northeast Ecological Corridor, Las Cabezas de San Juan Natural Reserve, Ceiba Commonwealth Forest, and portions of the former naval base at Roosevelt Roads. The first FCBC was conducted on 18 December 1994, and has occurred annually since with assistance of several organizations and numerous volunteers or citizen scientists (see acknowledgements). The FCBC was initiated to monitor bird

populations annually over many years with citizen scientist participation to determine the status of various bird species and to provide baseline for comparisons of population changes after future habitat changes and perturbations, such as hurricanes and droughts. Therefore the FCBC was well positioned with baseline of pre-hurricane bird abundance data to document the effects of two hurricanes in 2017. The count area was first affected by Hurricane Irma, which brushed the northeast coast of Puerto Rico on 6 September 2017, followed two weeks later on 20 September by Hurricane Maria, which crossed the island from southeast to northwest as a class 4 hurricane. Thus this paper describes the effects of Hurricanes Irma and Maria in 2017 on bird populations in northeastern Puerto Rico by comparing results of the 2017 FCBC obtained ~3 months after Hurricane Maria with the results of the 2016 FCBC. The objective of this report is to describe the changes in bird populations shortly after two hurricanes affected northeastern Puerto Rico. This report should be viewed as preliminary because it is based on only one pre-hurricane FCBC (2016) as baseline and does not include the other available years, which will be included in future analyses.

The 24th Fajardo Christmas Bird Count was conducted on 17 December 2017, after substantial storm damage and lingering shock and disruptions from Hurricanes Irma (6 Sept.) and Maria (20 Sept.). Despite extensive defoliation (estimated 50-100%), and loss of tree branches with some trees felled or snapped, vegetation recovery by count day was well underway, at least for re-growth of leaves and some vines in the lowlands. In the lower elevations, most trees had re-sprouted new leaves in contrast to the higher elevations in El Yunque, where leaf sprouting was rare in most species (except tree ferns [Helecho de árbol] and *Cercropia peltata* [Yagrumo hembra]).

METHODS

The FCBC follows the methods specified by the National Audubon Society at: <http://www.audubon.org/christmas-bird-count-compiler-resources>. Although, only 43 people participated in the 2017 count (compared to 70 people in 2016), all but one of the experienced guides/leaders from previous FCBCs surveyed their traditional sites or routes in the count circle. These leaders and their assistants surveyed 15 sites in 2017, only one less than in the previous 2016 count, which included an additional site in Roosevelt Roads. In both 2016 and 2017, an owl (Múcaro) census was conducted from 5:30-6:30 am and the separate groups began their counts between 6:00 – 7:00 am. All morning groups ended their counts between 11:00 am – 12:00 pm and only one group searched for birds in the afternoon until 5:00 pm in both years. Overall, the search effort for the 2017 count was only 45 party hours (i.e., total time spent in the field by each of the separate groups or parties), which was below the 54 party hours of effort in 2016 (Tables 1 and 2 summarize the party hours, sites, and group leaders for 2016 and 2017 respectively).

RESULTS AND DISCUSSION

Overall, we tallied 1,934 birds of 82 species, both of which were low counts for past FCBCs (e.g., 2016 FCBC had 2,579 birds, 97 species). When corrected for search effort in the field, we found 1.8 species per party hour (ph), a value not much lower than the mean for counts of the previous 10 years and within the range of earlier counts (1.8-2.2 species per ph). In marked contrast to species per ph, however, we had only 43 individual birds per ph, which was well below the 10-year mean of 59.6 individuals per ph and outside the 10-year range of previous counts (47.7-68.2 individuals per ph). Thus, post-hurricane field groups (or parties)

Table 1. Summary of places, leaders, group sizes, time on foot, distance (miles) on foot, time in car, distance (miles) in car for the 23rd Fajardo Christmas Bird Count on 18 December 2016.

Place	Group Leader(s)	Group size	Foot time	Foot distance	Car time	Car Distance	Party No.
Owling Party-EYNF/LEF	Joe Wunderle	12	1	0.2	0	0	Owls
Morning Parties							
El Faro I –Las Cabezas de San Juan	Eduardo Esquilin Solís	7	3	3	0	0	1
El Faro II –Las Cabezas de San Juan	Antonia Bulnes Galán	9	1.5	3	0	0	2
El Faro III –Las Cabezas de San Juan	Leonor Alicea Rodríguez	7	3	2	0	0	3
Colinas del Yunque	Jean Lodge	3	0.5	0.1	2	4.3	4
Rio Mar Resort	Jean Lodge	3	0	0	2.7	8.1	4
El Portal/Catalina, EYNF/LEF	Edgar Vázquez	2	2.8	2.5	0	0	5
Bisley, EYNF/LEF	Victor Cuevas & José R. Burset	4	5.25	2	0.5	2.5	6
Icacos Valley, EYNF/LEF	Joe Wunderle	3	1.5	1	0	0	7
Yokahú Tower & Rte 191	Joe Wunderle	3	0.55	0.05	0.1	3	7
Roosevelt Roads 1 (Machos wetland)	Emilio Font	5	0.25	1	4.75	12	8
Roosevelt Roads 2	Noel Rivera Gomez	17	1.5	1.1	2	6.2	9
Bosque de Ceiba-Cayo Largo	Sharon Cantrell & Carlos Laboy	2	6.25	3	0.5	1	10
San Miguel –NE Ecological Corridor	Laura Fidalgo & Luis Villaneuva	4	5.75	3.5	0	0	11
Finca Las Paulinas –NE Ecological Cor.	Omar Monzón-Carmona	2	2.51	2.4	0	0	12
Big Tree Trail, EYNF/LEF	Felipe Cano	5	3.25	3	0	0	13
Afternoon Party							
Governor's Beach & Laguna de Aguas Prietas	Joe Wunderle & Emilio Font	6	2.5	0.75	0.25	1	14
TOTALS (Excludes Owling)							
Total Party Hours	53.91						
Total Party Miles	66.5						
Total Participants	70						

encountered new species for their lists at a rate only slightly lower than in previous counts, but encounters of new individual birds were markedly lower than previously. Thus, not surprisingly after two hurricanes, the number of individual birds counted was much reduced, although there was considerable variation among species in changes in counts of individuals (Appendices 1 and 2 summarize counts of all species in 2016 and 2017 FCBCs respectively).

To compare potential hurricane effects on individual species and groups of species I corrected all counts for effort (i.e., divided by party hours, ph) and compared the post-hurricane 2017 results with last year's 2016 FCBC. Given this correction for effort the number of species per party hour was identical in 2016 (1.79) and 2017 (1.80), but the number of individuals per ph decreased by 10.2% from 2016 (47.84) and 2017 (42.9).

I expected that aquatic species (pelicanos, patos, gaviotas), shorebirds (playeros, chorlos), and waders (garzas) would show some of the most severe post-hurricane declines given their exposure risk in open habitats with limited cover. Indeed this was the case for marine species all of which showed severe post-hurricane declines (Magnificent Frigatebird [Tijereta], -81.5%; Brown Pelican [Pelicano] -42.4%; Clapper Rail [Pollo de Mangle], -93.6%; Royal Tern [Gaviota Real], -82.9%). Although some aquatic species that swim on the water surface increased (Common Gallinule [Gallareta común] +27.9%), probably because they were easier to detect, others such as White-checked Pintails [Pato Quijada Colorado] declined (11 before to 0 after). Eighty percent of 15 shorebird species (playeros, chorlos) declined after the hurricane. However, the migrant Lesser Yellowlegs [Playero Guineilla Pequeña] increased from 0.17 individu-

Table 2. Summary of count places, leaders, group sizes, time on foot, distance (miles) on foot, time in car, distance (miles) in car for the 24th Fajardo Christmas Bird Count on 17 December 2017.

Place	Group Leader(s)	Group size	Foot time	Foot distance	Car time	Car Distance	Party No.
Owling Party-EYNF/LEF	Joe Wunderle	8	1	0.2	0	0	Owls
Morning Parties							
El Faro I –Las Cabezas de San Juan	Eduardo Esquilin Solís	2	2	3	0	0	1
El Faro II –Las Cabezas de San Juan	Eduardo Esquilin Solís	2	1	3	0	0	1
El Faro III –Las Cabezas de San Juan	Eduardo Esquilin Solís	2	0.5	2	0	0	1
Colinas del Yunque Urb.	Jean Lodge	2	0.5	0.13	2.5	4.3	2
Rio Mar Resort	Jean Lodge	2	0.5	0.13	1.5	8.1	2
El Portal/Catalina, EYNF/LEF	Edgar Vázquez	7	2	2.5	0	0	3
Bisley, EYNF/LEF	Victor Cuevas & José R. Burset	2	3	2	0	0	4
Rte 988 & 983	Victor Cuevas & José R. Burset	2	0	0	3	3	4
Icacos Valley, EYNF/LEF	Joe Wunderle	3	2	1	0	0	5
Yokahú Tower & Rte 191	Joe Wunderle	3	0.4	0.05	0.1	3	5
Roosevelt Roads 1 (Machos wetland)	Emilio Font	6	0.25	1.5	3.75	10.8	6
Bosque de Ceiba-Cayo Largo	Sharon Cantrell & Carlos Laboy	3	6.25	5.5	0.5	1	7
San Miguel –NE Ecological Corridor	Laura Fidalgo & Luis Villaneuva	8	4.75	4.7	0	0	8
Finca Las Paulinas –NE Ecological Cor.	José Salguero & Omar Monzón	8	4	1.5	0	0	9
Big Tree Trail, EYNF/LEF	Felipe Cano & Jessica Ilse	2	3.81	2.71	0	0	10
Afternoon Party							
Governor's Beach & Laguna de Aguas Prietas	Joe Wunderle & Emilio Font	6	2.5	0.75	0.25	1	11
TOTALS (Excludes Owling)							
Total Party Hours	45.06		33.46	30.47	11.6	31.2	
Total Party Miles	61.67						
Total Participants	43						

als per ph (9 birds) to 2.38 individuals (107 birds) after the hurricanes possibly because of increased detectability and the likelihood that this migrant species arrived on the island after the hurricanes.

The counts of herons and egrets (garzas) per party hour actually increased after the storms, but this was attributable to a colony of 53 Snowy Egrets (Garza Blanca), which surprisingly, were breeding as evidenced by courtship displays, copulations and 3 egrets [garzas] incubating/brooding on nests) on the Rio Mar Resort property. Removal of the Snowy Egret (Garza Blanca) colony tally from the analysis indicated that herons/egrets numbers declined by 173% after the storms.

Native or permanent resident raptors (hawks and falcons; guaraguaos y falcónes) declined by an average of only 8.1%, despite the 92% increase in Red-tailed Hawks in this year's count (likely due to increased detectability). American Kestrels

(Falcón Común), a resident species, declined by -71.2%, which pulled the average down for the resident raptors.

As found in many post-hurricane studies, nectarivores (hummingbirds [zumbadores] and Banana-quits [Reinita Común) showed the greatest decrease (-310%) of any group of birds, but not too surprising given the disappearance of their flowers. Frugivore/seed eaters, however, showed an increase of 632% from the 2016 counts per ph, which was unexpected given marked declines in fruits and seeds. Many frugivore/seed eaters were likely actively searching for food, and hence much easier to detect (Monk Parakeets [Periquito Monje] +619%; Scaly-naped Pigeon [Paloma Turca] +82%; Red-legged Thrush [Zorzal de Patas Colorados] +100%; Pearly-eyed Thrasher [Zorzal Pardo] +124%; Puerto Rican Oriole [Calandria] +140%), but other frugivore/seed eaters showed decreases possibly due to mor-

tality or movement to other sites (White-crowned Pigeon [Paloma Cabeciblanca] -82%; Ruddy Quail-Dove [Paloma Perdiz Rjoza] -100%; Puerto Rican Bullfinch [Come name] -70%). Although native seed-eating finches showed increased numbers (Yellow-faced Grassquit [Gorrión Barba Amarilla] +20%; Black-faced Grassquit [Gorrión Negro] +34%) all the non-native finches declined (Bronze Mannikin [Diablito] -79%) and most other formerly common non-native species were absent showing declines of 100% (Nutmeg Mannikin [Gorrión Canela], Orange-cheeked Waxbill [Veterano Mejil-lanarajado], Pin-tailed Whydah [Viuda Colicinta]). Whether these differences in detections represent response differences to hurricanes by the native and non-native finches needs further study.

Counts of insectivorous species increased substantially after the storms (+1862%), likely due in part to increased detectability, because some vocalized more frequently than normal and were easier to see (Puerto Rican Tody [San Pedrito] +92%; Puerto Rican Woodpecker [Carpentaro] +57%; Logger-head Kingbird [Clérigo] +1098%). But other normally vocal insectivores were unusually quiet (Adelaide's Warbler [Mariposera] -4%) as was the omnivorous Puerto Rican Tanager ([Llorosa] +60%). A species of conservation concern, the insectivorous endemic Elf-woods Warbler [Reinita de Bosque Enano] was found on the Big Tree Trail in El Yunque N.F., but not in the Icacos valley (where previously found) possibly due to the extensive defoliation there. Counts of migrant insectivores were on average higher after the hurricane (+559%) than before probably also likely due to increased detectability (Northern Parula [Reinita Pechidorado] +350%; Black-throated Blue Warbler [Reinita Azul] +259%, Prairie Warbler [Reinita Galana] +200%). Nonetheless, some migrant species did show declines in counts, such as Northern Waterthrush (Pizpita de Mangle, -48%) and Louisiana Waterthrush (Pizpita de Rio, -100%)

both possibly due to loss of canopy cover over their ground foraging sites.

How do we interpret all of these seemingly inconsistent post-hurricane changes in bird numbers (i.e., both increases in some species and decreases in others) after the 2017 hurricanes? The Fajardo bird count occurred almost three months after the passage of Maria, during a post-hurricane period when birds are wandering widely in search of critical resources lost in the storm (food, foraging substrates, cover, nesting and roosting sites, etc.). Similar post-hurricane wandering was found for several months after Hurricane Hugo in mist net captures, which were unusually high (above baseline levels), especially for canopy dwelling species (Wunderle 1995). Increases in counts of some species such as frugivores are also consistent with previous observations of frugivores concentrating in fruit-rich sites. Such food patches may exist because of sheltered locations or rapid recovery of certain fruiting plants (Wunderle et al. 1992, Wunderle 1995). Palms, especially Royal Palms (*Roystonea* sp.) are known to be especially attractive to birds when fruiting after hurricanes (Wiley and Wunderle 1994, Wunderle and Wiley 1996).

In summary, some post-hurricane increases may result from birds concentrating in some of the few food-rich patches, while decreases occurred in sites where food or other resources have disappeared. Increased post-hurricane detectability also plays a large role especially for displaced canopy dwellers foraging at ground level where they are easier to observe (e.g., Puerto Rican Tody, San Pedrito), or simply because the absence of leaves makes some species easier to observe (e.g., some insectivorous birds). The FCBC coincided with the post-hurricane period when many birds were still wandering in search of resources eliminated or damaged by the hurricanes. Therefore, the FCBC occurred during a difficult period to evaluate population status, which will require future FCBCs to determine the

status of the island's species in response to the 2017 hurricanes. Although there are likely to be substantial differences among bird species in their rates of recovery to pre-hurricane abundance I am optimistic that most bird populations will recover as they have from past hurricanes, assuming that their habitat is not lost to development.

ACKNOWLEDGEMENTS

The success of the Fajardo Christmas Bird Count is due to the enthusiastic contribution of participants, especially in the challenging year after the devastating hurricanes, leaving some participants without electricity, water, and reliable communications at the time of the count. Their commitment to the FCBC is very much appreciated. Also appreciated are the various organizations that contributed to the event including the Puerto Rican Ornithological Society Inc. (SOPI), Para la Naturaleza, Coalition for Defense of the Northeastern Ecological Corridor, and the USDA Forest Service (International Institute of Tropical Forestry & El Yunque National Forest). To organize and lead the many participants requires experienced observers who led groups in different areas and kept records of the birds observed as well as notes on search efforts. The group and co-group leaders represent the backbone of the Fajardo count and their regular participation contributes greatly to the consistency of the count, facilitating analyses of long-term trends. Thanks to those who led or co-lead groups including: José Burset, Sharon Cantrell, Sergio Colón, Victor Cuevas, Felipe Cano, Carlos Laboy, Eduardo Esquilín, Laura Fidalgo, Emilio Font, Jessica Ilse, Jean Lodge, Edgar Vázquez, and Luis Villaneuva. Eduardo Esquilín facilitated the use of Las Cabezas de San Juan Reserve as a mid-day meeting site. Emilio Font obtained permission to census birds at Roosevelt Roads and coordinat-

ed count efforts there, as well as obtaining permission to census the Governor's Beach, and Laguna de Aguas Prietas. I thank Olga Ramos for preparation of Figure 1. This study was conducted in cooperation with the University of Puerto Rico.

LITERATURE CITED

- Arendt, W. J. 2006. Adaptations of an avian supertramp: distribution, ecology, and life history of the Pearly-eyed Thrasher (*Margarops fuscatus*). Gen Tech. Rep. 27. San Juan, PR: US Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry.
- Beissinger, S. R., J. M. Wunderle, Jr., J. M. Meyers, B. Saether, and S. Engen. 2008. Anatomy of a bottleneck: diagnosing factors limiting population growth in the Puerto Rican Parrot. *Ecological Monographs* 78:185-203.
- Faaborg, J., W. J. Arendt, J. D. Toms, K. M. Dugger, W. A. Cox, and M. Canals Mora. 2013. Long-term decline of a winter-resident bird community in Puerto Rico. *Biodiversity and Conservation* 22:63-75.
- Snyder, N. F. R., J. W. Wiley, and C. B. Kepler. 1987. The parrots of Luquillo: natural history and conservation of the Puerto Rican Parrot. Western Foundation of Vertebrate Zoology, Los Angeles, California.
- Torres, J. A. 1992. Lepidoptera outbreaks in response to successional changes after the passage of Hurricane Hugo in Puerto Rico. *Journal of Tropical Ecology* 8:285-298.
- Waide, R. B. 1991. Summary of the response of animal populations to hurricanes in the Caribbean. *Biotropica* 23(4a):508-512.
- White, T. H., Jr., J. A. Collazo, S. J. Dinsmore, and I. Llerandi-Román. 2014. Niche restriction and conservatism in a neotropical psittacine: the case of the Puerto Rican Parrot. Pages 1-83 in B. Devore, editor. *Habitat loss: Causes, impacts on biodiversity and reduction strategies*. Nova Sciences Publishers, Inc., New York, NY.
- Wiley, J. W., and J. M. Wunderle, Jr. 1993. The effects of hurricanes on birds, with special reference to Caribbean islands. *Bird Conservation International* 3:319-349.
- Wunderle, J. M., Jr., D. J. Lodge, and R. B. Waide. 1992. Short-term effects of Hurricane Gilbert on terrestrial bird populations on Jamaica. *Auk* 109:148-166.
- Wunderle, J. M. 1995. Responses of bird populations in a Puerto Rican forest to Hurricane Hugo: The first 18 months. *Condor* 97:879-896.
- Wunderle, J. M., Jr., and J. W. Wiley. 1996. Effects of hurricanes on wildlife: implications and strategies for management. Pages 253-264 in R. M. DeGraaf, and R. I. Miller, editor. *Conservation of faunal diversity in forested landscapes*. Chapman and Hall, New York.
- Wunderle, J. M., Jr. 1999. Pre- and post-hurricane fruit availability: Implications for Puerto Rican Parrots in the Luquillo Mountains. *Caribbean Journal of Science* 35:249-264.

Appendix 1. Results of the 23rd Fajardo Christmas Bird Count conducted on 18 December 2016 in the year before Hurricanes Irma and Maria, in northeastern Puerto Rico summarizing tallies per site for each species. The number at the head of each column refers to the site or route surveyed for birds in the count circle. The key to the numbered sites is found at the bottom of the table along with the leaders responsible for the counts at each specified site. The total number of observations for each species is designated by the column labeled "Tot" and Tot/Ph refers to the total number of individuals of the species divided by the total party hours (53.9 party hours).

Species	Sites by number (See key at end)																Tot	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Tot	/Ph
Pied-billed Grebe (Zaramago)			1		1							2					4	0.07
Mag. Frigatebird (Tijereta)	21									2	1			1		1	26	0.48
Brown Pelican (Pelicano pardo)	8		2		2					21	5	7		4		3	52	0.96
White-cheeked Pintail (Pato quijada colorado)										11							11	0.20
Tricolored Heron (Garza pechiblanca)	1		1							2							4	0.07
Little Blue Heron (Garza azul)	9									10	2						21	0.39
Snowy Egret (Garza blanca)					12					2			2			1	17	0.32
Great Blue Heron (Garzón azulado)	2	1															3	0.06
Great Egret (Garza real)	1		2		4		1			9	7	8		4			36	0.67
Cattle Egret (Garza de ganado)				1	12						9	3					25	0.46
Green Heron (Martinete)	2	1					1				1	4					9	0.17
Yellow-cr. Night-Heron (Yaboa común)	3																3	0.06
Least Bittern (Martinetito)																	0	
Osprey (Aguila pescadora)					1					4							5	0.09
Red-tailed Hawk (Guaraguo colirrojo)				1		1	3	1	4		3	2	2	5	2	1	25	0.46
Broad-winged Hawk (Guaraguo de bosque)							1										1	0.02
American Kestrel (Falcón común)					2					7	1	2		1		4	17	0.32
Merlin (Esmerejón)																	0	
Peregrine Falcon (Falcón peregrino)							1						1				2	0.04
Clapper Rail (Pollo de mangle)	9	2									8						19	0.35
Common Moorhen (Gallareta común)					9					1		4		3			17	0.32
Caribbean Coot (Gallinazo antillano)																	0	
Solitary Sandpiper (Playero solitario)	1		1														2	0.04
Greater Yellowlegs (Playero guineilla grande)										2							2	0.04
Lesser Yellowlegs (Playero guineilla pequeña)	2									5	2						9	0.17
Spotted Sandpiper (Playero coleador)	2									2	1			6			11	0.20
Ruddy Turnstone (Playero turco)										5							5	0.09
Least Sandpiper (Playero menudo)	11										1						12	0.22
Semipalmated Sandpiper (Playerito gracioso)										3	8						11	0.20

Effects of Hurricanes Irma and Maria on Birds in The Fajardo Christmas Bird Count
in Northeastern Puerto Rico: a Preliminary Assessment

Species	Sites by number (See key at end)																Tot	/Ph	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
Stilt Sandpiper (Playero patilargo)			4								22	1					27	0.50	
Short-billed Dowitcher (Chorlo pico corto)											30						30	0.56	
Black-necked Stilt (Viuda)											22	1					23	0.43	
Black-bellied Plover (Playero cabezón)											13						13	0.24	
Semipalmated Plover (Playero acollarado)															23	5	28	0.52	
Killdeer (Playero sabanero)																	0		
Wilson's Plover (Playero marítimo)			1														1	0.02	
Laughing Gull (Gaviota gallega)											2						2	0.04	
Royal Tern (Gaviota real)			1								6						7	0.13	
Rock Pigeon (Paloma caseral)						2								12		25	39	0.72	
White-crowned Pigeon (Paloma cabeciblanca)			14	4							1	1					20	0.37	
Scaley-naped Pigeon (Paloma turca)			1	4		2		22	22	1	1	1	3	4	3	2	66	1.22	
Zenaida Dove (Tórtola cardosantera)			14	7		13	7	12	3		5	1	30		2		8	102	1.89
White-winged Dove (Tórtola aliblanca)			4	8		46	11	10	1		3	1	4	8	1		1	98	1.82
Mourning Dove (Tórtola plañidera)													7				7	0.13	
Common Ground Dove (Rolita)			2	2	2	7					6	1	3	12	23		3	61	1.13
Ruddy Quail-Dove (Paloma perdiz rojiza)									2				4	3		1	1	11	0.20
Monk Parakeet (Periquito monje)							2										2	0.04	
Orange-fronted Parakeet (Periquito frentianaranjado)						6		2	2								10	0.19	
White-winged Parakeet (Canary-wing) (Periquito aliblanco)						12											12	0.22	
Mangrove Cuckoo (Pájaro bobo menor)				1				1	5			2	3		2		14	0.26	
PR Lizard Cuckoo (Pájaro bobo mayor)						2		1	6							2	11	0.20	
Smooth-billed Ani (Judío)						1					5		21		5		32	0.59	
PR Screech Owl (Múcaro de Puerto Rico)										14						1	15	0.28	
Antillean Mango (Zumbador dorado)											1				1		2	0.04	
Green Mango (Zumbador verde)													2		1		3	0.06	
Antillean Cr. Hummingbird (Zumbadorcito crestado)			1	6							1			6	3		17	0.32	
Puerto Rican Emerald (Zumbadorcito de PR)				1					1				3			2	7	0.13	
Belted Kingfisher (Martín pescador)											1						1	0.02	
Puerto Rican Tody (San pedrito)						1		3	16	2	4		4	1	1	1	33	0.61	
Puerto Rican Woodpecker (Carpintero de PR)				1		8		5	1		1	2	3	2	3		26	0.48	
Caribbean Elaenia (Juí blanco)				5							18	4					27	0.50	

Species	Sites by number (See key at end)																Tot	Tot /Ph	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
Puerto Rican Flycatcher (Juí de Puerto Rico)							1				1			1	1	1	6	0.11	
Gray Kingbird (Pitirre)			12	8	8	35	14	6	7		27	19	40	8	18		10	212	3.93
Loggerhead Kingbird (Clérigo)							1										1	0.02	
Cave Swallow (Golandrina de cuevas)																	0		
Red-legged Thrush (Zorzal de patas coloradas)					5		8	3					2				18	0.33	
N. Mockingbird (Ruiseñor)					19						6	1	15	3	2		46	0.85	
Pearly-eyed Thrasher (Zorzal pardo)					4	6	5				3		1	2	2		23	0.43	
PR Vireo (Bien-te-veo)												1					1	0.02	
Black-whiskered Vireo (Julián Chiví)							7	5								1	13	0.24	
Red-eyed Vireo (Julián Chiví ojirrojo)																1	1	0.02	
Black-and-white Warbler (Reinita trepadora)											1	1					2	0.04	
Prothonotary Warbler (Reinita anaranjada)																	0		
Northern Parula (Reinita pechídorado)				3							3	1		1			8	0.15	
Yellow Warbler (Canario de mangle)			1								2						3	0.06	
Black-thr. Blue Warbler (Reinita azul)							1										1	0.02	
Adelaide's Warbler (Reinita mariposera)			7	18	11						6		20	9	11		4	86	1.60
Blackpoll Warbler (Reinita rayada)																	0		
Prairie Warbler (Reinita galana)				1													1	2	0.04
Elfin Woods Warbler (Reinita de bosque enano)																	0		
Ovenbird (Pizpita dorado)														5			5	0.09	
Northern Waterthrush (Pízpita de mangle)			5	2		1					48	9	5		1		1	72	1.34
Louisiana Waterthrush (Pízpita de río)								5								2		7	0.13
Common Yellowthroat (Reinita pica tierra)													3				3	0.06	
Hooded Warbler (Reinita capucha)											1						1	0.02	
American Redstart (Candelita)							1				7						1	9	0.17
Bananaquit (Reinita común)			7	16	3	55	4	28	35	1	2	21	2	40	23	50	49	351	6.51
P. R. Stripe-headed Tanager (Reina mora)									2		1		1		3	2		9	0.17
Puerto Rican Tanager (Llorosa)							2	1	3	2						1		9	0.17
PR Bullfinch (Come ñame de PR)							7	5	3	1								16	0.30
Yellow-faced Grassquit (Gorrión barba amarilla)													4					4	0.07
Black-faced Grassquit (Gorrión negro)					1			1			16	2	20	7	6			53	0.98
Shiny cowbird (Tordo lustroso)			6			6												12	0.22

Effects of Hurricanes Irma and Maria on Birds in The Fajardo Christmas Bird Count
in Northeastern Puerto Rico: a Preliminary Assessment

Species	Sites by number (See key at end)																Tot	/Ph
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
Greater Antillean Grackle (Chango)			9	2		113	32				16	9	4	18	2		205	3.80
Puerto Rican Oriole (Calandria capuchinegra)			3				1	3	2						2		11	0.20
House Sparrow (Gorrión inglés)					2								3				5	0.09
Pin-tailed Whydah					2								80				82	1.52
Viuda colicinta																		
Orange-cheeked Waxbill													7	5	5		17	0.32
Veterano mejillanaranjado																		
Bronze Mannikin (Diablito)					14	55							2	2			73	1.35
Nutmeg Mannikin (Gorrión canela)					35	9							3		4		51	0.95
Muscovy Duck (Pato criollo)						9											9	0.17
Western Sandpiper (Playerito occidentalis)			15														15	0.28
Worm-eating Warbler (Reinita gusanera)											1						1	0.02
Chuck-wills-widow (Guabairo mayor)													1				1	0.02
Lesser Scaup (Pato pechiblanco menor)																10	10	0.19
Unidentified Duck species (Pato especies)																	5	0.09
Unidentified Warbler sp. (Reinita spp.)								3			1						4	0.07
Unidentified Hummingbird sp. (Zumbador spp.)			1	2	2						1	1					7	0.13
Unidentified finch (Gorrión spp)					8												8	0.15
Unidentified Vireo								3			1						4	0.07
Unidentified Dove (Tortola sp.)												1					1	0.02

Total Individuals = 2579
Total Species = 97

Code	Locations	Leader
1	El Farro I	Eduardo Esquilín Solís
2	El Farro II	Antonio Bulnes Galán
3	El Farro III	Leonor Alicea Rodríguez
4	Colinas del Yunque	Jean Lodge
5	Rio Mar	Jean Lodge
6	El Portal - Catalina, EYNF	Edgar Vázquez
7	Bisley Watersheds, rte 988, EYNF	Victor Cuevas & José R. Burset
8	Icacos Valley, EYNF	Joe Wunderle
9	Yokahu Tower Rte. 191, EYNF	Joe Wunderle
10	Roosevelt Roads I (Machos wetland & p7.4)	Emilio Font
11	Roosevelt Roads II	Noel Rivera Gómez & Jean C. Díaz
12	Bosque de Ceiba (includes Cayo Largo)	Sharon Cantrell & Carlos Laboy
13	Finca Las Paulinas, El Convento-NE Ecological Corr.	Omar Monzón-Carmona
14	San Miguel - NE Ecological Corridor	Laura Fidalgo & Luis Villaneuva
15	Big Tree Trail, EYNF	Felipe Cano
16	Governor's Beach & La Laguna de Aguas Prietas	Joe Wunderle & Emilio Font

Appendix 2. Results of the 24th Fajardo Christmas Bird Count conducted on 17 December 2017 after Hurricanes Irma and Maria, in northeastern Puerto Rico summarizing tallies per site for each species. The number at the head of each column refers to the site or route surveyed for birds in the count circle. The key to the numbered sites is found at the bottom of the table along with the leaders responsible for the counts at each specified site. The total number of observations for each species is designated by the column labeled “Tot” and Tot/Ph refers to the total number of individuals of the species divided by the total party hours (45 party hours).

Species	Sites by number (See key at end)															Tot	/Ph
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Pied-billed Grebe (Zaramago)					1						1					2	0.04
Mag. Frigatebird (Tijereta)	1									1	2					4	0.09
Brown Pelican (Pelicano pardo)	3	2								8	11				1	25	0.56
White-cheeked Pintail (Pato quijada colorado)																0	0.00
Tricolored Heron (Garza pechiblanca)																0	
Little Blue Heron (Garza azul)										5						5	0.11
Snowy Egret (Garza blanca)					53								1			54	1.20
Great Blue Heron (Garzón azulado)											2					2	0.04
Great Egret (Garza real)		5			2		1			3	5					16	0.36
Cattle Egret (Garza de ganado)				3	22		1				2	1				29	0.64
Green Heron (Martinete)	2			1							5		2			10	0.22
Yellow-cr. Night-Heron (Yaboa común)	1										1					2	0.04
Least Bittern (Martinete)											1					1	0.02
Osprey (Aguila pescadora)										1					1	2	0.04
Red-tailed Hawk (Guaraguo colirrojo)				2		2	7	3	8	1	2	2	2	8	2	39	0.87
Broad-winged Hawk (Guaraguo de bosque)																0	0.00
American Kestrel (Falcón común)										2		1			1	4	0.09
Merlin (Esmerejón)											1				1	2	0.04
Peregrine Falcon (Falcón peregrino)											1	1				2	0.04
Clapper Rail (Pollo de mangle)	1															1	0.02
Common Moorhen (Gallareta común)					10					3	4		1			18	0.40
Caribbean Coot (Gallinazo antillano)					2											2	0.04
Solitary Sandpiper (Playero solitario)																0	
Greater Yellowlegs (Playero guineilla grande)																0	
Lesser Yellowlegs (Playero guineilla pequeña)	1									106						107	2.38
Spotted Sandpiper (Playero colector)											1		11			12	0.27
Ruddy Turnstone (Playero turco)										2						2	0.04
Least Sandpiper (Playero menudo)																0	
Semipalmated Sandpiper (Playerito gracioso)																0	

Species	Sites by number (See key at end)															Tot	/Ph
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Stilt Sandpiper (Playero patilargo)																0	
Short-billed Dowitcher (Chorlo pico corto)																0	
Wilson's Snipe (Becasina de Wilson)																0	
Black-necked Stilt (Viuda)	2															2	0.04
American Oystercatcher (Ostero o Caracolero)																0	
Black-bellied Plover (Playero cabezón)										8						8	0.18
Semipalmated Plover (Playero acollarado)													19			19	0.42
Killdeer (Playero sabanero)											1					1	0.02
Wilson's Plover (Playero marítimo)																0	
Laughing Gull (Gaviota gallega)																0	
Royal Tern (Gaviota real)											1					1	0.02
Rock Pigeon (Paloma caseral)							4					45				49	1.09
White-crowned Pigeon (Paloma cabeciblanca)		3														3	0.07
Scaley-naped Pigeon (Paloma turca)	1	3	1	12		8	6	7	1	3	14	8	14	20	3	101	2.24
Zenaida Dove (Tórtola cardosanteria)		2		16	22	9	9			10	3		6		2	79	1.76
White-winged Dove (Tórtola aliblanca)				27		6				1		34	1			69	1.53
Mourning Dove (Tórtola plañidera)											6	1				7	0.16
Common Ground Dove (Rolita)	3			6						7	25	13	6		3	63	1.40
Ruddy Quail-Dove (Paloma perdiz rojiza)																0	
Monk Parakeet (Periquito monje)				4							3		5			12	0.27
Orange-fronted Parakeet (Periquito frentianaranjado)				4			1						3			8	0.18
White-winged Parakeet (Canary-wing) (Periquito aliblanco)																0	
Mangrove Cuckoo (Pájaro bobo menor)				1							1		1		1	4	0.09
PR Lizard Cuckoo (Pájaro bobo mayor)				2		1	4					1				8	0.18
Smooth-billed Ani (Judío)	5		1	10								1				17	0.38
PR Screech Owl (Múcaro de Puerto Rico)						4										4	0.09
Antillean Mango (Zumbador dorado)				1												1	0.02
Green Mango (Zumbador verde)																0	
Antillean Cr. Hummingbird (Zumbadorcito crestado)												1				1	0.02
Puerto Rican Emerald (Zumbadorcito de PR)				3												3	0.07
Belted Kingfisher (Martín pescador)	1									4	1					6	0.13
Puerto Rican Tody (San pedrito)				5		4	23	2		5	4	3		7		53	1.18

Species	Sites by number (See key at end)															Tot	/Ph
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Puerto Rican Woodpecker (Carpintero de PR)				12		1	10	1		1	2	4	1	2		34	0.76
Caribbean Elaenia (Juí blanco)		1								1	1	1				4	0.09
Puerto Rican Flycatcher (Juí de Puerto Rico)				4			1				1		1			7	0.16
Gray Kingbird (Pitirre)	11			55	11	1	4			9	37	25	13		5	171	3.80
Loggerhead Kingbird (Clérigo)				9		1										10	0.22
Cave Swallow (Golandrín de cuevas)				4								4				8	0.18
Red-legged Thrush (Zorzal de patas coloradas)				11		6	11				1	1				30	0.67
N. Mockingbird (Ruisseñor)				4	1		1			10	8	2			2	28	0.62
Pearly-eyed Thrasher (Zorzal pardo)	2			9	1		1	7		4	4	8	3	1	3	43	0.96
PR Vireo (Bien-te-veo)							1									1	0.02
Black-whiskered Vireo (Julián Chiví)				2		1	2							1		6	0.13
White-eyed Vireo (Vireo ojiblanca)																0	
Red-eyed Vireo (Julián Chiví ojirrojo)																0	
Black-and-white Warbler (Reinita trepadora)											3					3	0.07
Prothonotary Warbler (Reinita anaranjada)																0	
Northern Parula (Reinita pechidorado)				8	3	1	7			1	10					30	0.67
Yellow Warbler (Canario de mangle)												1			1	2	0.04
Black-thr. Blue Warbler (Reinita azul)							2		1							3	0.07
Adelaide's Warbler (Reinita mariposera)	7	5	3							8	14	17	12		3	69	1.53
Blackpoll Warbler (Reinita rayada)				1												1	0.02
Prairie Warbler (Reinita galana)												5				5	0.11
Elfin Woods Warbler (Reinita de bosque enano)														1		1	0.02
Ovenbird (Pizpita dorado)											1	2				3	0.07
Northern Waterthrush (Pizpita de mangle)	2	2			1					20	3		2		1	31	0.69
Louisiana Waterthrush (Pizpita de río)																0	
Common Yellowthroat (Reinita pica tierra)																0	
Hooded Warbler (Reinita capucha)												1				1	0.02
American Redstart (Candelita)							2	3		2	1	1		4		13	0.29
Bananaquit (Reinita común)		6	3	57	1	19	19	6	1	17		13	34	26	8	210	4.67
P. R. Spindalis (Reina mora)					2	1	1					1		2		7	0.16
Puerto Rican Tanager (Llorosa)							3	4						5		12	0.27
PR Bullfinch (Come ñame de PR)					1		1	2								4	0.09

Species	Sites by number (See key at end)															Tot	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Tot	/Ph
Yellow-faced Grassquit (Gorrión barba amarilla)												4				4	0.09
Black-faced Grassquit (Gorrión negro)	5	4	1	7						8	7	9	17		1	59	1.31
Shiny cowbird (Tordo lustroso)				4								14				18	0.40
Greater Antillean Grackle (Chango)	5			67	55		11				17	26			3	184	4.09
Puerto Rican Oriole (Calandria capuchinegra)					15	2	2				1		2			22	0.49
House Sparrow (Gorrión inglés)					3							10				13	0.29
Pin-tailed Whydah Viuda colicinta																0	
Orange-cheeked Waxbill (Veterano mejillanaranjado)																0	
Bronze Mannikin (Diablito)					13											13	0.29
Nutmeg Mannikin (Gorrión canela)																0	
Jungle Fowl (Gallo)							3									3	0.29
Muscovy Duck (Pato criollo)					16											16	0.36
Eurasian Collared-Dove (Paloma collarina)												1				1	0.02
Unidentified Hummingbird sp. (Zumbador spp.)											1		1			2	0.04
Unidentified Pigeon (Paloma spp)															2	2	0.04

Total Individuals = 1,934
Total Species = 82 species

Code	Locations or routes	Leader
1	El Faro I - Las Cabezas Reserva Natural	Eduardo Esquilín Solís
2	El Faro II - Las Cabezas Reserva Natural	Eduardo Esquilín Solís
3	El Faro III - Las Cabezas Reserva Natural	Eduardo Esquilín Solís
4	Colinas del Yunque Urbanization	Jean Lodge & Hilda Morales
5	Rio Mar Resort	Jean Lodge & Hilda Morales
6	El Portal - Catalina, EYNF/LEF	Edgar Vázquez
7	Bisley, & Rte 988 & 983	Victor Cuevas & José Burset
8	Icacos Valley - Route 191 - EYNF	Joe Wunderle
9	Yokahú Tower (around the tower; tower not open) -EYNF/LEF	Joe Wunderle
10	Roosevelt Roads	Emilio Font
11	Bosque de Ceiba & Cayo Largo	Sharon Cantrell & Carlos Laboy
12	Finca Las Paulinas, El Convento - NE Ecological Corridor	José Salguero
13	San Miguel - NE Ecological Corridor	Luis Villaneuva & Laura Fidalgo
14	Big Tree Trail - EYNF/LEF	Felipe Cano & Jessica Ilse
15	Governor's Beach & La Laguna de Aguas Prietas	Joe Wunderle & Emilio Font

EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PROYECTO “INDUCCIÓN DE LLUVIA DURANTE LA SEQUÍA DEL 2015 EN PUERTO RICO” LLEVADO A CABO POR LA AUTORIDAD DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS (AAA)

Ferdinand Quiñones

Consultor AAA, Knoxville, Tennessee.

Resumen

La intensa sequía del 2015 que afectó la región este-central de Puerto Rico resultó en reducciones históricas en los flujos en los ríos que alimentan los embalses La Plata (Toa Alta) y Loíza (también conocido como Carraízo, en Trujillo Alto). Estos dos embalses suplen normalmente hasta 160 millones de galones de agua por día (Mgd) a la Zona Metropolitana de San Juan (ZMSJ). La merma en abastos de agua en estos embalses forzó a la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) a iniciar un programa de reducción en la extracción de agua y un racionamiento en la distribución de agua potable a cerca de 1.2 millones de residentes de la ZMSJ. A principios de julio del 2015, la AAA inició un proyecto para tratar de inducir lluvias en las nubes sobre las cuencas que alimentan agua a La Plata y Carraízo, así como la parte baja de la cuenca del Embalse Cidra y el Río Bayamón. El proyecto consistió en inyectar Cloruro de Calcio y/o Yoduro de Plata a nubes ascendentes o sobre las montañas en la parte de la Cordillera Central que drena hacia los tres embalses. Los resultados del proyecto establecen que el disparo de las bengalas resultó en éxitos limitados en inducir lluvias moderadas y, excepto por un evento, solo aumentos menores en las escorrentías en las cuencas que alimentan los embalses principales utilizados por la AAA para abastecer una gran parte de sus plantas de filtración y acueductos en la ZMSJ.

Palabras clave Puerto Rico, Autoridad de Acueductos y Alcantarillados, AAA, Sequía 2015, Racionamiento Agua, Inducción de Lluvia, SOAR, Escorrentía, Resultados Proyecto Inducción Lluvia 2015.

INTRODUCCIÓN

Puerto Rico sufrió en el 2015 una de las sequías más severas en los últimos 60 años, afectando dos terceras partes de las cuencas en la isla. Las lluvias tradicionales de abril y mayo no ocurrieron, resultando en mermas extraordinarias en las escorrentías que fluyen por las quebradas y ríos de la isla. Esta merma en escorrentía se reflejó a su vez en los niveles de los embalses principales utilizados por Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) para

abastecer una gran parte de sus plantas de filtración y purificación de agua en la zona central-este de Puerto Rico.

El efecto de la sequía y mermas en escorrentía fue más severo en las cuencas que alimentan los embalses La Plata (Toa Alta), Loíza (también referido como Carraízo, en Trujillo Alto) y Cidra. El embalse La Plata provee agua a la planta de filtración Enrique Ortega en Toa Alta, mientras que Loíza abastece la planta Sergio Cuevas en Trujillo Alto. Cidra contribuye agua a la planta Los Filtros en Guaynabo. Estas plantas suplen hasta 190 millones

de galones de agua por día (Mgd) a la Zona Metropolitana de San Juan (ZMSJ), incluyendo los municipios de Carolina, San Juan, Trujillo Alto, Bayamón, Guaynabo, Toa Alta y sectores de Toa Baja (aproximadamente el 75 % del agua potable que recibe la ZMSJ). La sequía se extendió a través del verano, forzando a la AAA a reducir las extracciones de agua de los embalses La Plata y Loíza a medida que sus niveles y la cantidad de agua almacenada disminuyeron drásticamente. En junio, la AAA se vio forzada a iniciar un programa de racionamiento de agua potable a los sectores servidos por los tres embalses y sus plantas de filtración.

Ante este estado crítico de los abastos de agua en los embalses La Plata, Loíza y Cidra, en julio de 2015 la AAA inició un proyecto diseñado para tratar de inducir lluvia sobre las cuencas que nutren escorrentía a los tres embalses. La AAA contrató la firma SOAR, especialistas en investigaciones para estimular lluvia en zonas afectadas por sequías. La técnica utilizada consistió de disparar bengalas conteniendo los compuestos Yoduro de Plata y/o Cloruro de Calcio a nubes sobre o en movimiento hacia dichas cuencas. Los cristales de estos compuestos han inducido lluvia en otras localidades en EU y el extranjero.

Este artículo resume las técnicas que se utilizan para estimular la condensación de agua en las nubes, así como datos de los vuelos operacionales llevados a cabo desde julio hasta octubre de 2015. El informe presenta una evaluación de cada uno de los 40 vuelos completados en ese período (consolidados en 27 eventos), con el propósito de determinar si las bengalas disparadas indujeron lluvias y escorrentías en las cuencas de interés. Los datos y resultados establecen que en la mayor parte de los eventos las bengalas no indujeron lluvias o

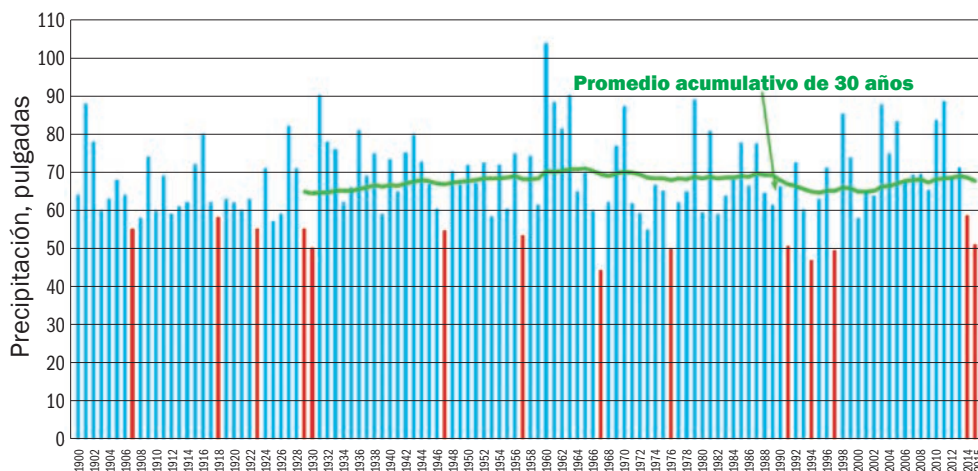


Figura 1. Precipitación promedio en Puerto Rico desde 1900 hasta el 2015. Barras en rojo: Años con lluvia promedio menor de 60 pulgadas.

escorrentías significativas. En las instancias en que se indujeron lluvias, estas fueron menores y resultaron en escorrentías mínimas o moderadas en las cuencas de los embalses La Plata, Loíza y Cidra.

SEQUÍA DEL 2015 Y EFECTO EN LOS EMBALSES PRINCIPALES

La sequía del 2015 ha sido entre las más intensas que ha sufrido Puerto Rico desde el 1967-68. La isla experimenta sequías severas periódicas, según reflejado por los datos de precipitación promedio anual desde el 1900 hasta el 2015 (Figura 1). Esta gráfica (datos del Servicio Nacional de Meteorología) documenta que la lluvia promedio a largo plazo en Puerto Rico no ha disminuido, con un promedio anual de 69 pulgadas. A corto plazo se observa una declinación leve debido a las sequías del 2014 y 2015. Las barras en rojo ilustran los años con un total anual de lluvia menor de 60 pulgadas; generalmente menos de 50 pulgadas representa sequías severas similares a la del 2015.

La intensidad de la sequía del 2015 comparada con otras sequías en los últimos 50 años se ilustran en la Figura 2. En esta Figura la lluvia mensual se acumula a medida que los meses pasan, ilustrando tendencias que facilitan comparar años diferentes. La tendencia del 2015 hasta agosto era similar a las de 1967 y 1994,

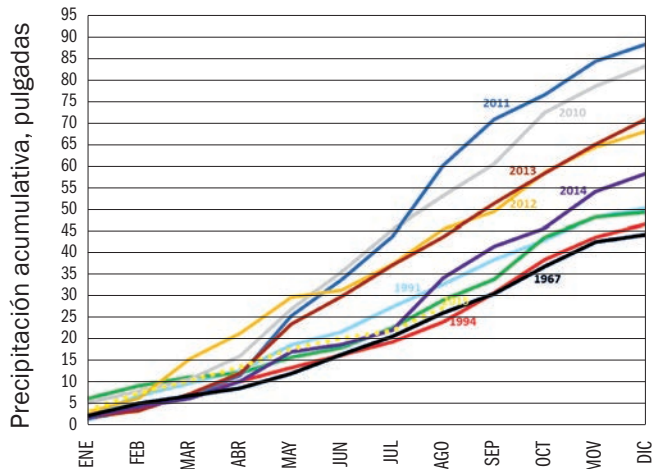


Figura 2. Intensidad de sequías recientes en Puerto Rico y la sequía del 2015.

aunque luego de agosto comenzaron a ocurrir lluvias abundantes en varias zonas de la isla, lo que resultó en un valor promedio del mes elevado. Pero en la zona central-este de la isla, el promedio de lluvia anual fue casi 10 pulgadas menor que el promedio de todo Puerto Rico.

La sequía del 2015 indujo mermas extraordinarias en la escorrentía en la mayor parte de las cuencas en la región central-este de Puerto Rico. En particular, el flujo de agua en los ríos Bayamón, La Plata y Loíza, se redujo a niveles históricos, impactando severamente los embalses de Cidra, La Plata y Loíza (Carraízo). Como ejemplo de esta merma en escorrentía, la Figura 3 ilustra el flujo promedio diario mínimo observado en la

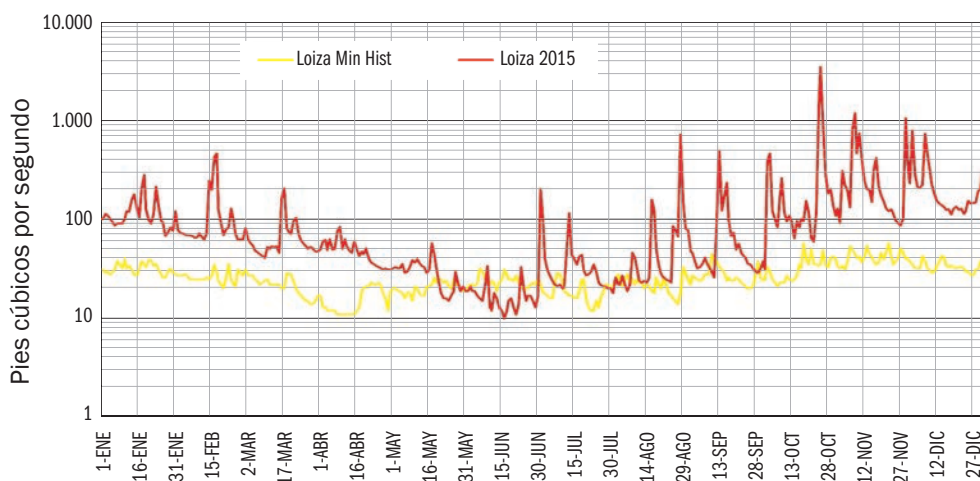


Figura 3. Comparación del flujo promedio mínimo diario en el Río Grande de Loíza en Caguas desde 1957 al 2014 y el flujo promedio diario en el 2015.

estación de medir escorrentía que opera el USGS en el Loíza en Caguas (50055000). En la gráfica se compara el flujo promedio diario en el 2015 con los mínimos históricos (1957-2014) en dicha estación. Las gráficas reflejan que en junio de 2015 el flujo promedio diario en dicha estación fue menor que el mínimo histórico desde 1957.

Durante la sequía del 2015, los embalses en la zona este-central que utiliza la AAA para proveer agua potable para uso doméstico y comercial (incluyendo la ZMSJ), exhibieron mermas sustanciales en sus niveles (incluyendo a Cidra, La Plata, Loíza, Fajardo, Blanco, Patillas y Carite) (Figura 4). Hacia el centro-oeste de la isla (excepto en el Embalse Toa Vaca) las escorrentías fueron adecuadas para mantener flujos normales hacia los embalses de la zona.

TRASFONDO DEL PROCESO PARA ESTIMULAR LA CONDENSACIÓN DE VAPOR DE AGUA EN LAS NUBES E INDUCIR LLUVIAS

Los proyectos para estimular la condensación del vapor de agua en las nubes e inducir lluvia datan desde la década de 1940. Cientos de proyectos similares al llevado a cabo por la AAA en Puerto Rico han sido completados por múltiples empresas en Estados Unidos, Australia, el Medio Este, España, y varios

otros países. La literatura sobre estos proyectos es abundante, incluyendo resultados mixtos sobre su eficiencia. En los estados de Arizona, California, Nuevo México y Montana varias otras empresas llevan a cabo anualmente proyectos similares, documentando resultados variables sobre su efectividad. En general, la literatura establece que en aproximadamente en el

15 % de los proyectos se han documentado incrementos en lluvias y escorrentías en las cuencas pertinentes.

Es relativamente simple y conocido el principio termodinámico en el que se fundamentan los proyectos de incentivar la condensación del vapor de agua en las nubes e inducir lluvia. La formación natural de gotas de agua en las nubes se debe a procesos “adiabáticos”, donde las masas de nubes se enfrían al elevarse debido a corrientes de aire y/o cambios en temperaturas. Este proceso es fundamental en gran parte de la lluvia que ocurre en las laderas de las montañas en Puerto Rico, y que denominamos “lluvias orográficas”. En el caso de Puerto Rico, las masas de aire saturadas con vapor de agua son impulsadas por el viento hacia las montañas de las cordilleras que cruzan la isla. La barrera física que crean las montañas en las cordilleras fuerza el aire y las nubes a elevarse, lo que induce su enfriamiento y la condensación del vapor de agua que eventualmente produce la lluvia. Este fenómeno es evidente en todas las regiones de Puerto Rico, no solamente en la costa norte, aunque en dicha costa ocurre con más frecuencia debido a la dirección general prevaleciente de los Vientos Alisios del este-noreste. Los tradicionales aguaceros de la tarde en la zona de Mayagüez se deben a este efecto orográfico del enfriamiento de las nubes.

En el caso de los proyectos de inducir la condensación del vapor de agua en las nubes para producir lluvias, el proceso consiste en inyectar “agentes catalíticos” que promuevan la formación de gotas de agua y eventualmente lluvias. Dos métodos principales se utilizan hoy en día para tratar de incentivar la producción de lluvia:

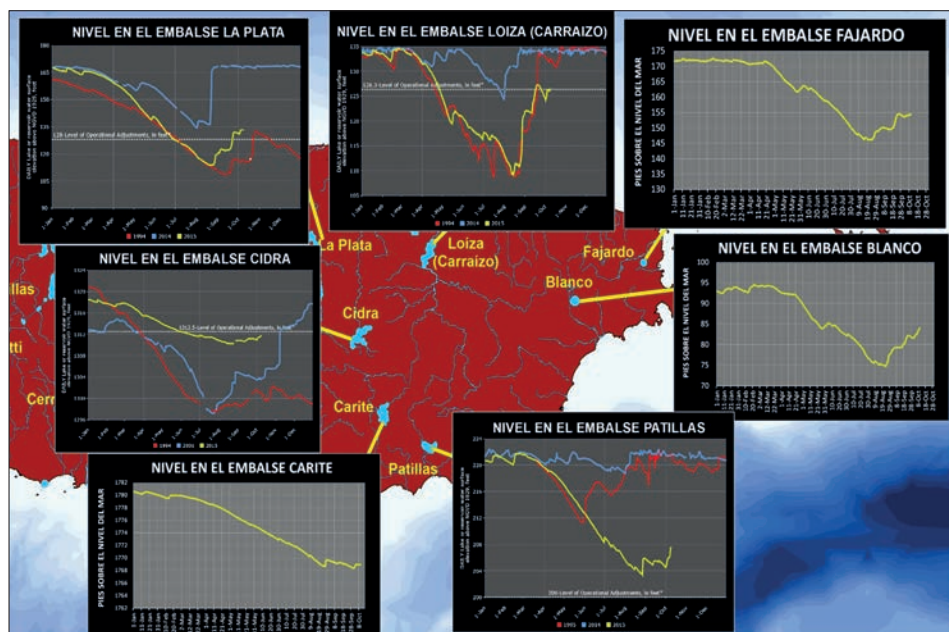


Figura 4. Niveles en los embalses de la región este-central durante la sequía del 2015.

1. Método de Nubes Frías: Cuando la temperatura es suficientemente baja en la atmósfera, en las nubes se forman pequeños cristales de hielo. Este es principio que resulta en la lluvia natural en las montañas. Pequeños cristales de hielo también se forman cuando el agua fría hace contacto con la superficie del polvo, arena o sales suspendidas en el aire y las nubes. Los cristales de hielo proveen un núcleo alrededor de los cuales gotas de agua se adhieren incrementalmente. Cuando las gotas alcanzan un volumen y peso suficiente, se precipitan en forma de lluvia. La teoría propone que al inyectar partículas pequeñas en las nubes, estas proveen núcleos adicionales a las partículas naturales, incentivando la formación de gotas de agua en exceso a las naturales, induciendo lluvia adicional. El Yoduro de Plata (fórmula química AgI) fomenta más efectivamente la formación de estos núcleos de gotas frías en nubes en las montañas o a altas elevaciones. La estructura y forma de los cristales del Yoduro de Plata son parecidos a los del hielo.
2. Método de Nubes Calientes: En nubes de menos elevación, o nubes ascendentes por las laderas de las montañas (como sucede en Puerto Rico debido al proceso orográfico), las temperaturas del aire no

permiten la formación de cristales de hielo. En estas condiciones, se experimentó añadiendo cristales de compuestos “higroscópicos” (que atraen el agua o humedad), tales como las sales y el polvo seco. Los proyectos concluyeron que el Cloruro de Calcio (fórmula química CaCl_2) es el compuesto higroscópico más efectivo y simple para este propósito. El vapor de agua en la nube comienza a condensarse alrededor de las partículas de CaCl_2 , hasta formar gotas que se precipitan. El enfriamiento de las nubes al ascender por las montañas combinado con el incentivo de formar gotas producidos por los cristales de CaCl_2 , pueden inducir más condensación y precipitación que bajo las condiciones originales.

3. Ambos métodos se ilustran gráficamente en la Figura 5, obtenida del informe de la empresa SOAR a la AAA (publicación autorizada por la AAA).

Características Físicas y Químicas del Yoduro de Plata y el Cloruro de Calcio

El Yoduro de Plata y el Cloruro de Calcio son compuestos inorgánicos que se utilizan en múltiples procesos comerciales e industriales.

1. Yoduro de Plata ocurre en el ambiente natural como parte del mineral “odargyrita” (también conocido como “iodyrita”), del cual se mina para usos comerciales. El compuesto es esencialmente insoluble en agua, con una solubilidad de 2.9×10^{-9} miligramos por litro (mg/L) (equivalente a 0.0000000029 mg/L). En comparación, el Nitrato de Plata (AgNO_3), compuesto utilizado en medicamentos y procesos fotográficos, tiene una solubilidad a 86 grados Fahrenheit de 3,000 mg/L, equivalente a 100,000,000 veces mayor que el Yoduro de Plata.
2. La insolubilidad del Yoduro de Plata limita su potencial de ser absorbido por plantas y animales a concentraciones tan y tan bajas que es casi imposible detectarlo con los instrumentos analíticos de alta precisión. No existen dudas de que en altas concentra-

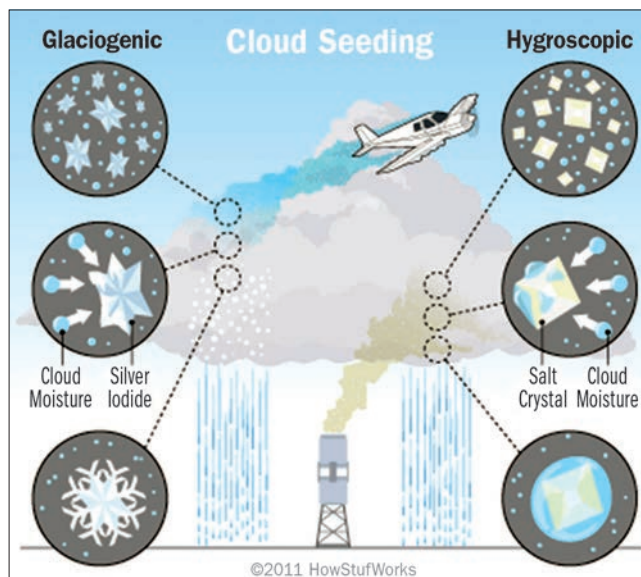


Figura 5. Diagrama generalizado de los procesos “glaciogénicos” e “higroscópicos” para inducir lluvia en nubes ascendentes o frías.

ciones es un irritante tóxico, lo cual no puede ocurrir durante los proyectos de incentivar precipitación. Las cantidades de Yoduro de Plata en cada bengala disparada a las nubes se limita a unos 2.5 gramos, que en un área de una (1) milla cuadrada, equivaldrían a una concentración máxima de 0.96 microgramos por metro cuadrado del suelo ($0.96 \text{ microgramos/m}^2$).

3. El Cloruro de Calcio (fórmula química CaCl_2) es un compuesto común en los suelos y aguas de la mayor parte de los países del planeta. Calcio es el componente principal en las rocas calizas que abundan en todo Puerto Rico (regiones del Karso), y el Cloruro es el ion que junto al sodio forma la sal marina que todos consumimos.
4. Ambos elementos que forman el CaCl_2 ocurren en forma iónica en todas las aguas en Puerto Rico, como se documenta de miles de análisis químicos llevados a cabo por la USGS y la JCA en las aguas de ríos, embalses, acuíferos y costaneras en la isla. Las cantidades de CaCl_2 en las bengalas usadas para incentivar la producción de lluvia no exceden 2.5 gramos por unidad. Al precipitarse a tierra se ioniza en la presencia de agua a sus elementos en forma iónica Ca^{++} y Cl^- , desde son absorbidos por las plantas

y fauna acuática en los cuerpos de agua, ya que son esenciales para la vida animal y vegetal acuática.

5. No existen dudas de que los compuestos utilizados en el proyecto de incentivar lluvia en Puerto Rico no representan un riesgo directo o indirecto a la salud de los residentes en las zonas donde se llevan a cabo los proyectos, ni al medioambiente de las cuencas donde se descargan estos compuestos.

a) El Cloruro de Calcio (CaCl_2) usado en las nubes ascendentes es un compuesto formado por dos iones que abundan en el medioambiente y son nutrientes comunes a la flora y fauna terrestre y acuática. En agua se ioniza a sus componentes de Ca^{++} y Cl^- , los que no son tóxicos ni corrosivos. El calcio es la base de las rocas calizas que ocupan más de 650 millas cuadradas en Puerto Rico, mientras que el cloruro es uno de los iones que forman la sal común.

b) El Yoduro de Plata (AgI) usado en las nubes elevadas es esencialmente insoluble, permaneciendo inerte en los suelos y en el fondo de los cuerpos de agua. Aunque en sus fases elementales sin reaccionar la plata es tóxica y el yodo es corrosivo, la baja solubilidad del compuesto de ambos elementos neutraliza efectivamente estas propiedades adversas de los elementos individuales. Es riesgo ambiental del uso del AgI es mínimo a corto y largo plazo. En el caso del proyecto llevado a cabo por la AAA en tres cuencas en Puerto Rico, el total de AgI utilizado al completar el proyecto fue de aproximadamente 67.5 gramos (una libra son 453.9 gramos; esto es basado en 27 bengalas conteniendo el Yoduro de Plata, mientras que el balance de 203 bengalas contenían el Cloruro de Calcio). Esta cantidad de AgI dispersa sobre un área de aproximadamente 700 millas cuadradas resultará en concentraciones no detectables (aproximadamente 0.037 microgramos por metro cuadrado) en los suelos de las cuencas utilizadas en los proyectos. Si consideramos la concentración expresada en microgramos por kilogramo del suelo ($\mu\text{g}/\text{kg}$), es equivalente a una concentración de 0.0001 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

HISTORIAL DEL PROYECTO Y RESUMEN DE LOS EVENTOS OPERACIONALES LLEVADOS A CABO POR SOAR ENTRE JULIO DEL 2015 A OCTUBRE DEL 2015

1. Historial del Proyecto:

a) A finales de junio de 2015, la AAA contrató la firma SOAR para llevar a cabo inyecciones de CaCl_2 y AgI en nubes ascendentes y elevadas en varias cuencas en Puerto Rico. El foco principal de las inyecciones de estos compuestos fueron las cuencas que drenan quebradas y ríos hacia los embalses Loíza (Carraízo); Cidra (y el Río Bayamón aguas abajo del embalse); y La Plata. Estas cuencas se ilustran en las siguientes dos figuras.

b) SOAR comenzó operaciones (vuelos) de reconocimiento en julio del 2015, e inició vuelos operacionales el 22 de julio de 2015. En cada vuelo se documentó la hora de salida; el rumbo inicial, intermedios y final; datos de las condiciones atmosféricas en la zona de vuelo usando equipos de radar y sonar en el avión operacional; datos de la presencia o ausencia de nubes en la zona de cada vuelo; coordenadas y hora de la descarga de bengalas conteniendo los compuestos propios para las condiciones atmosféricas encontradas (CaCl_2 en el caso de nubes ascendentes y AgI en el caso de nubes elevadas); número de bengalas disparadas en cada evento y la cantidad de material en la bengala; y datos generales de la misión en cumplimiento con las reglamentaciones de la FAA y la Autoridad de Puertos de Puerto Rico. Toda esta información está disponible en el informe final de SOAR en la página de la AAA.

2. En diciembre 14 del 2015, SOAR sometió a la AAA un informe detallado de los métodos y procedimientos utilizados para completar el proyecto incluyendo la ubicación (coordenadas y elevaciones) dónde se dispersaron los agentes catalíticos indicados y resultados de cada “evento” de disparo de bengalas.

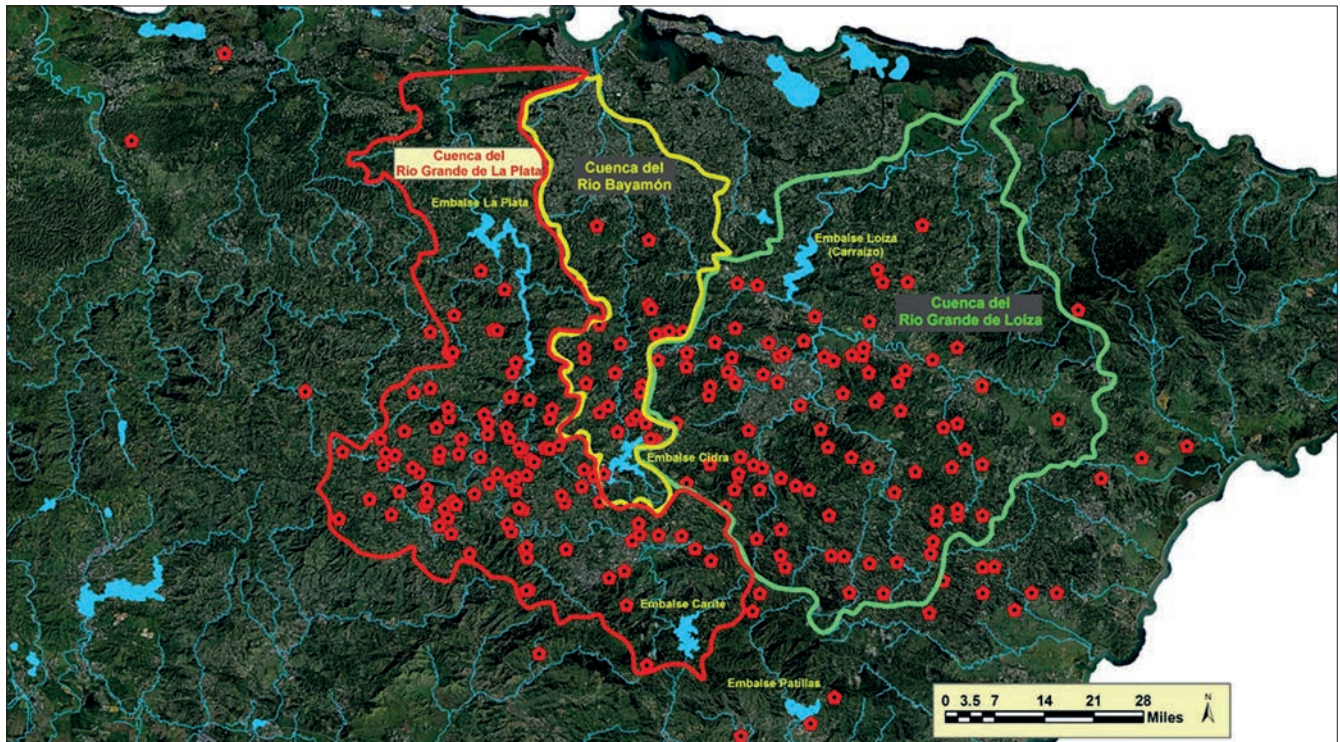


Figura 6. Dispersión de las bengalas disparadas por SOAR entre julio-octubre del 2015 en las cuencas de los embalses La Plata, Cidra y Loíza.

3.El personal de SOAR realizó 40 vuelos operacionales desde el 22 de julio de 2015 al 25 de octubre del 2015. Esto no incluye los vuelos de reconocimiento y los que no resultaron en la inyección de AgI y/o CaCl_2 a nubes candidatas. En cada vuelo operacional varió el número de lugares e inyecciones de los compuestos indicados, dependiendo de las condiciones atmosféricas y la ubicación de bancos de nubes en las cuencas preferenciales de interés (Loíza, Cidra y La Plata). La dispersión de las bengalas disparadas en el período indicado se ilustra en la Figura 6.

4.Las latitudes y longitudes del punto donde se disparó cada bengala (total de 230 bengalas), así como la hora al momento del disparo se utilizaron en el análisis. De las 230 bengalas, 20 se dispararon fuera de los lindes de las cuencas de interés. En la mayor parte de estos casos, es posible que la dirección prevaeciente de los vientos estuviera soplando del su-
reste hacia el noroeste (lo cual ocurre parte del año), motivando el personal de SOAR a ubicar las ben-

galas en los puntos con mayor potencial de impactar nubes ascendentes o elevadas. En vista de que el análisis en este informe enfocó en los posibles efectos de la serie de bengalas en una cuenca disparadas durante una misión, estas desviaciones menores no impactaron las interpretaciones de la efectividad de las bengalas en inducir lluvias en las tres cuencas de interés.

MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL PROYECTO

El análisis de los datos obtenidos durante la duración del proyecto de inyección de AgI y CaCl_2 a nubes ascendentes y elevadas incluyó técnicas gráficas y correlaciones sencillas. El propósito de los análisis fue tratar de identificar si existe una relación de causa a efecto entre las inyecciones a nubes de los compuestos indicados y la generación de lluvia y eventualmente con aumentos en la escorrentía en las cuencas donde se

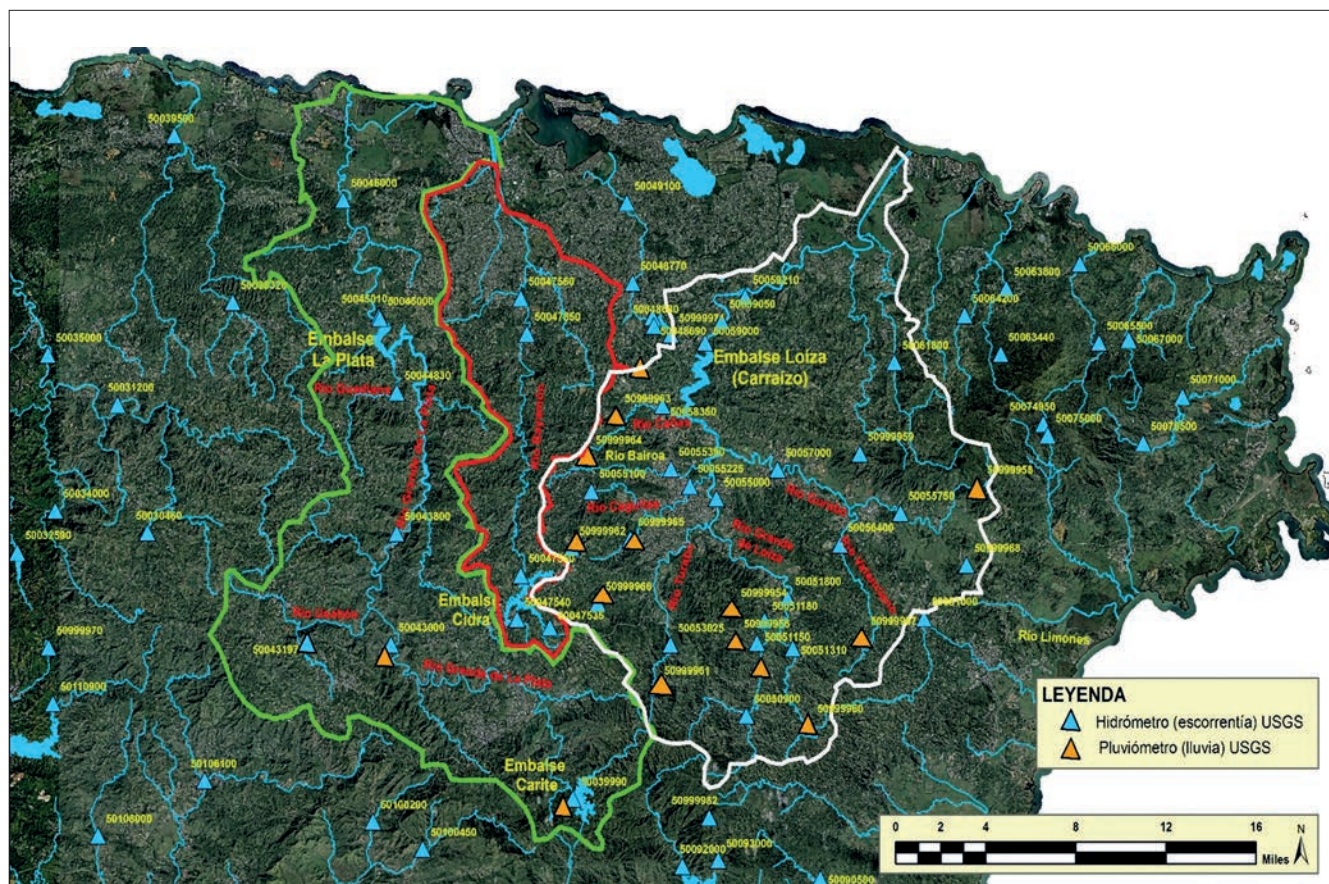


Figura 7. Red de pluviómetros e hidrómetros operados por el USGS en las cuencas de los ríos Grande de Loíza, Bayamón y La Plata.

llevaron a cabo las inyecciones. Los análisis gráficos se llevaron a cabo utilizando fotos aéreas del 2010 de las cuencas en el sistema de información geográfica ARC-GIS. Las redes de estaciones operadas por el USGS para medir flujo en los ríos (hidrómetros) de las tres cuencas y precipitación (pluviómetros) en sus sub-cuencas

fueron utilizadas en los análisis. Las estaciones en estas redes se ilustran en la Figura 7.

En las tres cuencas del proyecto, el Servicio Meteorológico Nacional (NWS) no opera estaciones para medir lluvia “instantánea” que suplementen los datos de las estaciones del USGS. Sin embargo, utilizando sus sistemas de radar, el NWS provee datos de la precipitación total diaria sobre todo Puerto Rico. Como ejemplo, la intensidad de la lluvia sobre Puerto Rico el 16 de agosto de 2015 incluyendo la zona de las tres cuencas del proyecto se ilustra en la Figura 8.

Aunque los datos del NWS no tienen la precisión de los pluviómetros operados por el USGS, permiten determinar si los eventos de disparos de bengalas a las nubes coinciden con sistemas de clima afectando la zona del proyecto. Conjuntamente con los datos del USGS, esto permite discernir la efectividad de la posible inducción de lluvia

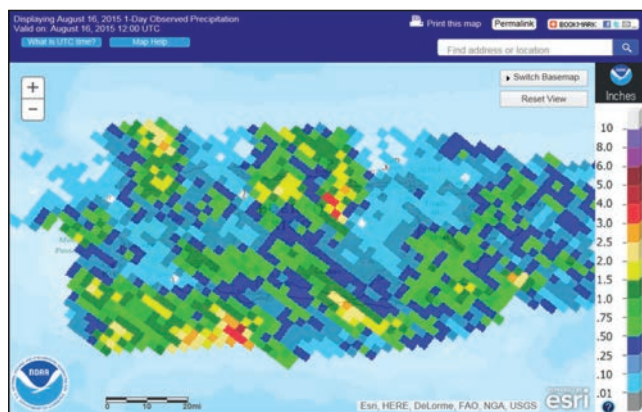


Figura 8. Ejemplo del radar del NWS estimando la lluvia sobre Puerto Rico para el 16 de agosto de 2015.

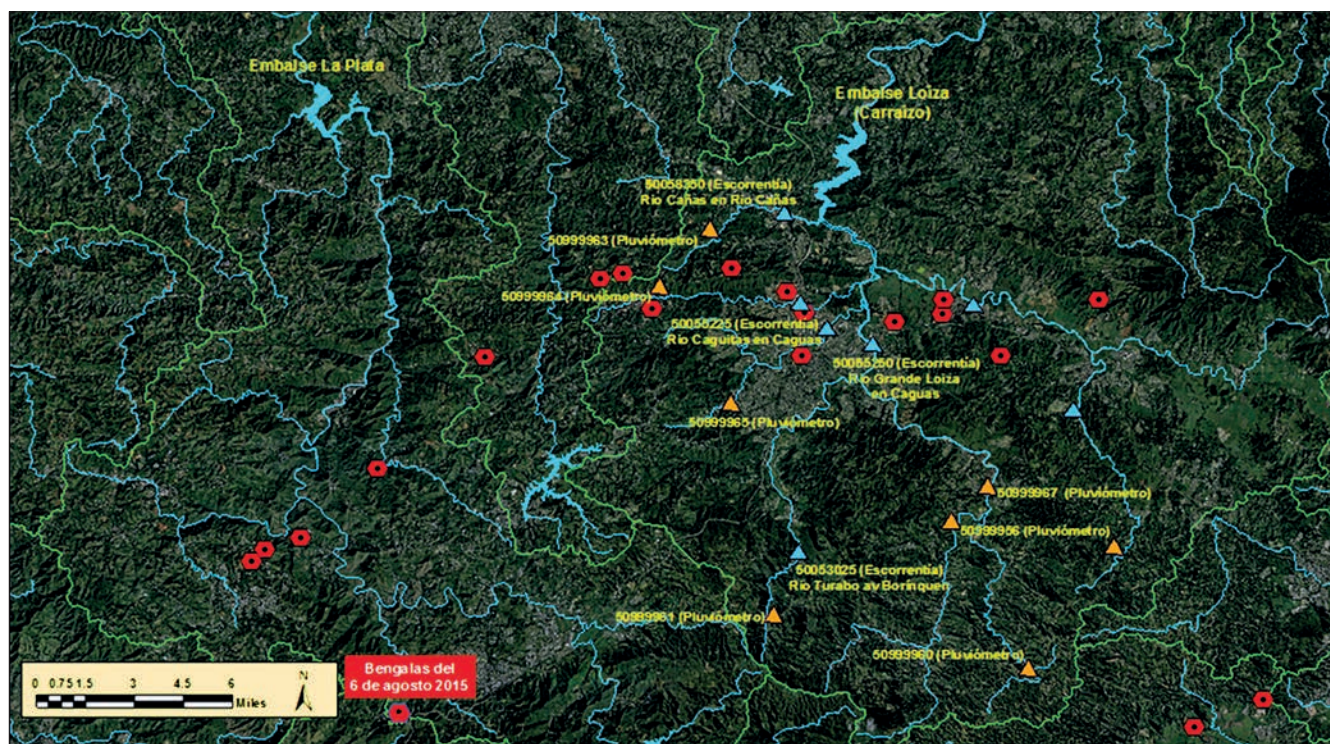


Figura 9. Bengalas disparadas el 6 de agosto de 2015 ubicadas en el mapa de las estaciones de precipitación y flujo operadas por el USGS en las cuencas de los ríos La Plata, Bayamón y Loíza.

DESCRIPCIÓN DE LOS ANÁLISIS GRÁFICOS E HIDROLÓGICOS DE LA INDUCCIÓN DE LLUVIA Y ESCORRENTÍA EN LAS CUENCAS DE LOS EMBALSES LOIZA, (CIDRA) Y LA PLATA

Los datos de disparos de bengalas conteniendo AgI y CaCl_2 en las nubes sobre las cuencas de los ríos Grande de Loíza, Bayamón, y Grande de La Plata, se analizaron gráficamente referidos a las fechas específicas de los vuelos y las horas de descargas de las bengalas conteniendo los compuestos indicados. Se crearon gráficas de cada grupo de bengalas disparadas el mismo día sobre una de las tres cuencas (llamadas Eventos). Fotos aéreas de alta resolución de las cuencas indicadas se utilizaron de trasfondo (Junta de Planificación, 2010), sobre el cual se ubicaron los puntos de disparos de las bengalas (utilizando las coordenadas provistas por SOAR). Los datos de latitud y longitud de cada bengala se acumularon en una matriz en Excel, la cual fue importada directamente

al sistema de ARCGIS 10.3. Esto previene errores de ubicación en el proceso de entrada de los datos al sistema de GIS. En la vecindad de cada uno de los puntos de inyección de los compuestos se identificaron las estaciones de medir lluvia (pluviómetros) y medir escorrentía (hidrómetros) operados por el USGS y el NWS. La localización de estas estaciones se determinó de las bases de datos del USGS y NWS y fueron integradas a las figuras de cada Evento utilizando sus coordenadas y otras características requeridas por el sistema de ARCGIS.

El procedimiento utilizado para evaluar si las bengalas disparadas durante un evento incluyó los siguientes pasos o procesos:

1. Segregación de las bengalas disparadas en cada evento y ubicación en un mapa generado con ARCGIS, con cada bengala geo-referenciada utilizando las coordenadas del avión de SOAR al momento de disparar la bengala. Como ejemplo, la Figura 9 ilustra las bengalas disparadas el 6 de agosto de 2015.

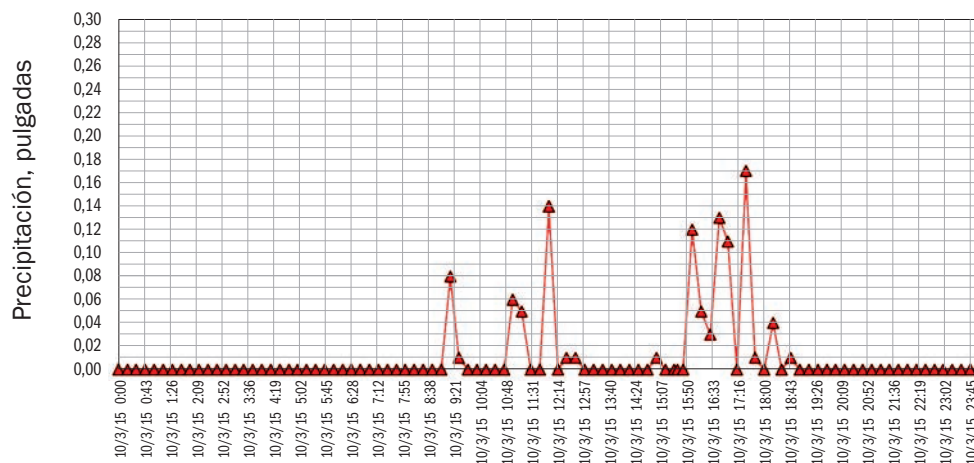


Figura 10. Datos de lluvia del 3 de octubre de 2015 medidos en un pluviómetro operado por el USGS en la cuenca del Río Grande de Loíza.

2. Extracción de los datos de lluvia de los pluviómetros operados por el USGS en la cuenca pertinente donde se dispararon las bengalas. Un ejemplo de los datos de lluvia medidos por el USGS cada 15 minutos en la cuenca del Río Grande de Loíza el 3 de octubre de 2015 se ilustra en la Figura 10.
3. Extracción de los datos de escorrentía de los hidrómetros operados por el USGS en la cuenca pertinente donde se dispararon las bengalas. Un ejemplo de los datos de escorrentía medidos por el USGS cada 15 minutos en la estación 50055000 en el Río Grande de Loíza el 14 de septiembre de 2015 se ilustra en la Figura 11.
4. Extracción de los datos de precipitación del sistema de radar y estaciones operadas por el NWS en Puer-

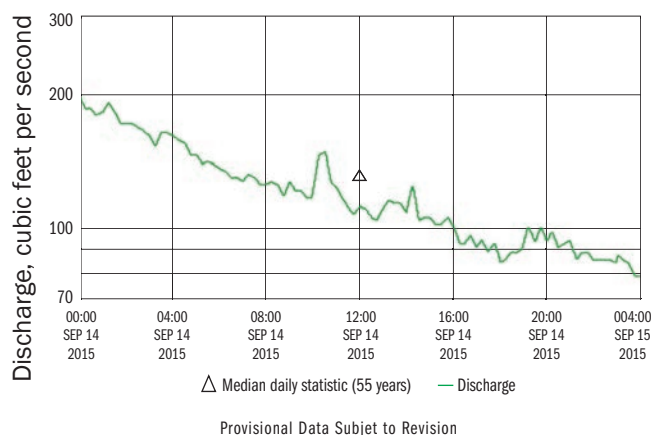


Figura 11. Datos de escorrentía medidos por el USGS cada 15 minutos en la estación 50055000 en el Río Grande de Loíza el 14 de septiembre de 2015.

to Rico donde se determina la precipitación a través de Puerto Rico para cada día del año. Una serie de estaciones índices miden la precipitación cada 5 minutos, la cual junto a los datos del radar permite calcular la lluvia del día en toda la isla. Aunque estos datos no son tan precisos como los pluviómetros operados por el mismo NWS y el USGS, proveen una referencia de lluvias o sistemas

climáticos que inducen lluvias en las cercanías de las tres cuencas evaluadas. Un ejemplo de los datos de lluvia calculados por el NWS para el 16 de septiembre de 2015 se ilustra en la Figura 12.

5. Consolidación en un solo mapa de las ubicaciones de las bengalas; los datos de precipitación medidos por el USGS; los datos de precipitación diaria calculados por el NWS; y la escorrentía en las estaciones operadas por el USGS aguas abajo del punto de disparo de las bengalas. Un ejemplo de esta consolidación de los datos se ilustra en la Figura 13. Las flechas en los hidrogramas ilustran la hora del disparo de las bengalas, lo que permite determinar si ocurrieron aumentos en escorrentía aguas abajo del punto de disparo.

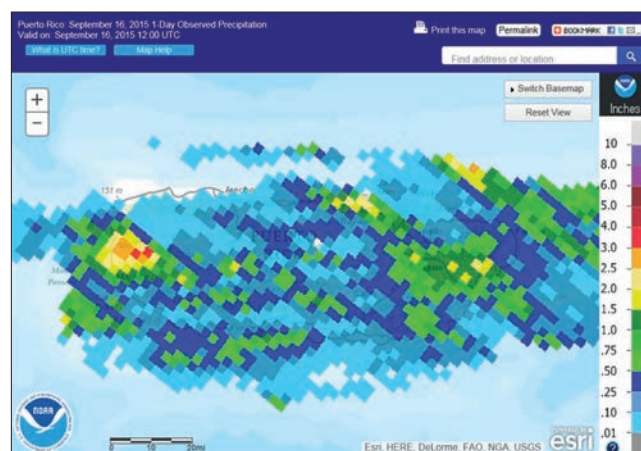


Figura 12. Mapa de lluvia sobre Puerto Rico determinado por el NWS para el 16 de septiembre de 2015.

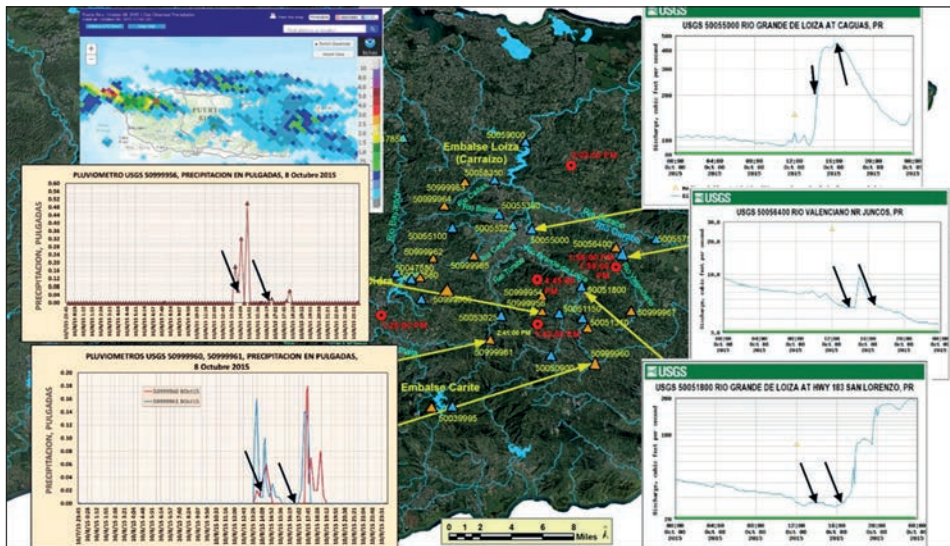


Figura 13. Mapa consolidando los datos de ubicación de las bengalas, precipitación y escorrentía para un evento específico.

6.El procedimiento arriba se repitió para cada uno de los 27 eventos en que dividieron los disparos de bengalas en las cuencas de los ríos Grande de La Plata, Bayamón y Grande de Loíza. Este análisis requirió

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Se llevaron a cabo análisis gráficos y semi-cuantitativos para determinar la efectividad en inducir lluvias

la preparación de 108 mapas con los datos indicados, permitiendo concluir con relativa certeza si el disparo de las bengalas en el evento indujo escorrentías significativas. Seis de los eventos se resumen gráficamente en la Figura 14. Todos los mapas detallados se incluyen en el informe final completo de 143 páginas sometido a la AAA y que se puede obtener en el enlace al final de este artículo.

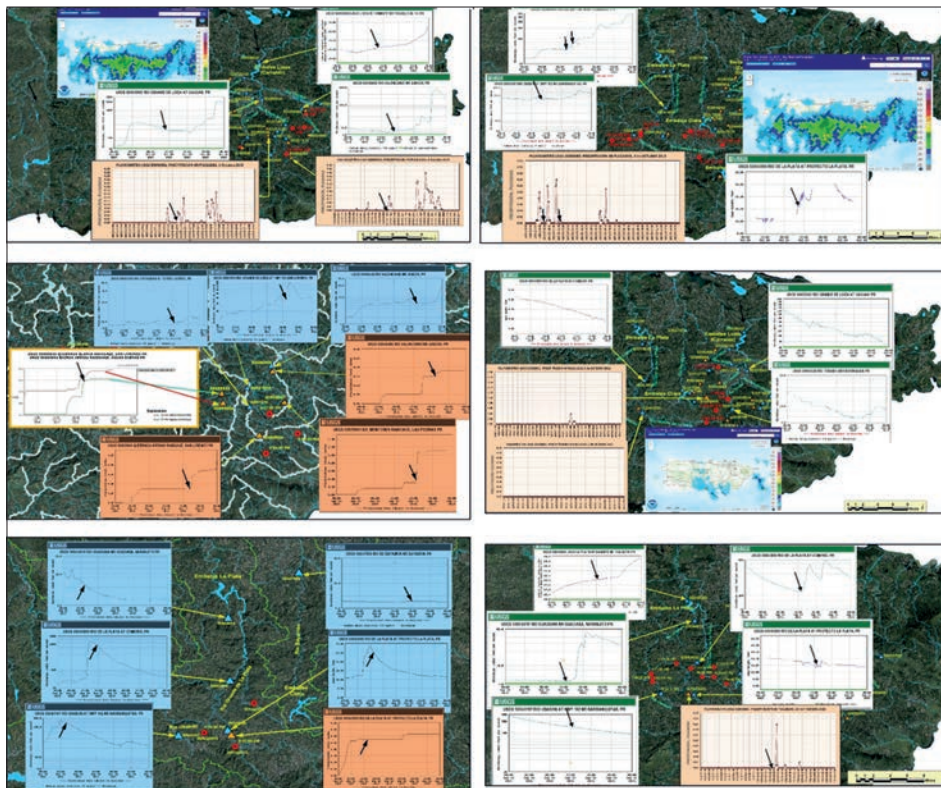


Figura 14. Mapa-ejemplo consolidando los datos de las bengalas, precipitación y escorrentía para seis (6) de los 27 eventos analizados.

mediante inyecciones de cristales de Yoduro de Plata (AgI) y Cloruro de Calcio (CaCl_2) en nubes ascendentes o sobre las cuencas que nutren los embalses Loíza (Carraízo), Cidra y La Plata. Los datos fueron evaluados utilizando la hora, fecha y ubicación al momento del disparo de cada bengala. Los 40 vuelos operacionales se consolidaron en 27 eventos, tomando en consideración que las condiciones climatológicas prevalecientes sobre Puerto Rico y sobre las cuencas de interés (La Plata, Bayamón y Loíza) fueran esencialmente uniformes durante los días de los vuelos individuales y el

Tabla 1. Resumen de los resultados generales de los eventos para inducir lluvia y escorrentía.

Efecto	Números de eventos
Significativo	1
Moderado	3
Mínimo	16
Ninguno	7

número de bengalas disparadas en cada vuelo (todas las consolidaciones involucraron menos de 4 bengalas en cada vuelo consolidado). Estos datos fueron alimentados a un sistema de información geográfica (SIG) utilizando las coordenadas obtenidas durante

los vuelos. Datos de lluvia y escorrentía instantánea (cada 15 minutos) fueron obtenidos de las redes operadas por el USGS para los días de cada evento. Datos adicionales de lluvias totales diarias obtenidas por el sistema de radar del NWS fueron utilizados en los análisis. Los datos de lluvia y escorrentía cada 15 minutos fueron proyectados en gráficas y superpuestas sobre fotos aéreas de las cuencas donde se ubicaron las bengalas individuales tomando en cuenta la ubicación del avión y la hora del disparo de las mismas. Utilizando estas gráficas se identificaron visualmente los eventos de aumentos de lluvia

Tabla 2. Resumen de los resultados de los 27 Eventos analizados de los 40 vuelos operacionales por SOAR.

Número Evento	Fecha Eventos en el 2015	Cuenca (s)	Hora Comienzo	Número Bengalas	Resultados
1	22, 29 de julio	L, B	2:38 p. m.; 8:20:00 p. m.	5	No se generaron lluvias o escorrentías adicionales
2	31 de julio		21:10	16	No se detectó aumento significativo en la escorrentía hacia los embalses de La Planta y Carraizo. Inducción de lluvia y escorrentía menor en cuenca del Río Valenciano
3	2, 4 de agosto		09:35	4	Bengalas disparadas fuera de las cuencas de interés. Efecto no evaluado
4	6 de agosto		15:10	17	Bengalas generaron cantidades menores de lluvia sin efectos significativos en la escorrentía
5	8-11 de agosto		10:51	12	Aumentos menores de 0,15 pulgadas de lluvia sin aumentos detectables en escorrentía
6	14-16 de agosto		11:18	17	Aumentos de hasta 0,40 pulgadas en la lluvia con aumentos menores significativos en escorrentía
7	21, 22 de agosto		12:42	7	Aumento de hasta 0,14 pulgadas en lluvia sin aumentos en escorrentía
8	28,29,30 de agosto		16:08	4	No ocurrieron aumentos en lluvia o escorrentía inducidos por las bengalas
9	1-4 de septiembre		11:33	15	No ocurrieron aumentos en lluvia o escorrentía inducidos por las bengalas
10	5,7 de septiembre		12:58	6	Aumentos de hasta 0,05 pulgadas en la lluvia con aumentos menores no significativos en escorrentía
11	11 de septiembre		13:35	10	No ocurrieron aumentos en lluvia o escorrentía
12	12 de septiembre		13:58	10	Aumento leve en lluvia de hasta 0,3 pulgadas sin aumentos en escorrentía detectables
13	14 de septiembre		15:01	6	Aumentos en lluvia de hasta 0,3 pulgadas sin aumentos significativos en escorrentía
14	15 de septiembre		12:19	11	Aumento leve en lluvia de hasta 0,2 pulgadas opacado de efectos de onda tropical
15	18-20 de septiembre		13:13	7	Bengalas generaron cantidades menores de lluvia sin efectos significativos en la escorrentía
16	22 de septiembre		11:46	6	Aumentos menores de 0,15 pulgadas de lluvia sin aumentos detectables en escorrentía
17	23 de septiembre		13:09	9	Bengalas generaron cantidades menores de lluvia sin efectos significativos en la escorrentía
18	2 de octubre		12:09	6	No ocurrieron aumentos en lluvia o escorrentía inducidos por las bengalas
19	3 de octubre		10:00	13	Bengalas generaron cantidades menores de lluvia sin efectos significativos en la escorrentía
20	5 de octubre		13:09	4	Bengalas generaron cantidades menores de lluvia sin efectos significativos en la escorrentía
21	8, 9 de octubre		13:25	8	Aumentos menores de lluvia sin aumentos detectables en escorrentía
22	15 de octubre		10:33	9	Aumentos de hasta 0,3 pulgadas en la lluvia con aumentos menores no significativos en escorrentía
23	16 de octubre		10:22	8	Bengalas generaron cantidades menores de lluvia sin efectos significativos en la escorrentía
24	17 de octubre		13:09	7	Aumentos de hasta 0,60 pulgadas de lluvia con aumentos menores de escorrentía
25	19 de octubre		11:40	6	Aumentos de hasta 0,80 pulgadas de lluvia con aumentos relativamente sustanciales de escorrentía en el Río Caguaitas en Caguas, resultando en una descarga de aproximadamente 100 Mgal al Embalse Loíza
26	21 de octubre		15:16	3	No ocurrieron aumentos en lluvia o escorrentía inducidos por las bengalas
27	25 de octubre		11:30	4	Bengalas disparadas cuando una vaguada cruzaba sobre Puerto Rico, con efectos menores o imposibles de detectar ante las altas escorrentías generadas por la vaguada
230					

y escorrentía relativos al tiempo de disparo de las bengalas.

En general, los datos de lluvia y escorrentía medidos en los pluviómetros e hidrómetros operados por el USGS (suplementados con los datos de lluvia del NWS), establecen que en la mayor parte de los vuelos las bengalas no indujeron lluvias ni escorrentías significativas. En las instancias en que los disparos de las bengalas resultaron en aumentos confirmados en la lluvia y escorrentía (excepto en una instancia en el Río Cagüitas cerca de Caguas) el aumento en la lluvia fue en cantidades moderadas que no indujeron escorrentías significativas. En varios de los vuelos las bengalas fueron disparadas en momentos en que ondas o depresiones tropicales se desplazaban sobre Puerto Rico. Durante estos eventos, cantidades significativas de lluvia y escorrentía ocurrieron en gran parte de las tres cuencas, lo que impide determinar con certeza las contribuciones de las bengalas de esos pocos eventos a la lluvia y escorrentía observada en las estaciones del USGS. Las Tablas 1 y 2 resumen en forma general los resultados de los análisis de cada uno de los 27 Eventos individuales. La Tabla 2 condensa los resultados de los disparos de las bengalas cuantitativamente enfocando en el número de eventos con impactos significativos, moderados, mínimos y ninguno. La Tabla 2 provee detalles adicionales de los resultados de los análisis de cada evento.

El informe completo del análisis de la efectividad del proyecto para tratar de inducir lluvia consta de 143 páginas. La mayor parte de estas páginas son figuras de los análisis gráficos de cada evento, incluyendo la fecha, hora y coordenadas de del disparo de las bengalas; la escorrentía aguas abajo en los ríos y quebradas de las tres cuencas donde el USGS opera hidrómetros que miden el flujo continuamente; la lluvia instantánea (medida cada 15 minutos) en los pluviómetros operados por el USGS en las tres cuencas; y los datos de lluvia promedio estimados mediante el radar del NWS en los días de los eventos analizados. Copia del informe completo está dispo-

nible en la Internet en formato PDF en el siguiente enlace:

https://www.dropbox.com/s/euk42vpmrxcoawd/SOAR%202015PR_Final_Report%2014Dec2015.pdf?dl=0

REFERENCIAS

- Aschwanden, C., 2014. We May Never Know How Well Cloud Seeding Works; Five Thirty Eight, ESPN News.
- Bryner, J., and Tsu, H., 2011. Rainmaking in Middle Eastern Desert: Success or Scam; Science, January 04, 2011.
- Cardno Entrix, 2011. Geochemistry and Impacts of Silver Iodide Use in Cloud Seeding: Cardno Entrix, 2300 Clayton Road, Suite 200, Concord, CA 94520.
- DeFelice, T.P. and others, 2013. Extra Area and Effects of Cloud Seeding: An Updated Assessment: National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO and others.
- Fisher Scientific, 2015. Safety Data Sheet for Silver Iodide (AgI): Fisher Scientific S78-100, Rev. 1, 2015.
- Handwerk, B., 2011. Scientists make dozens of storms in the Abu Dhabi Desert, National Geographic, Jan 19, 2011.
- MIT, 2010. The Adiabatic Atmosphere; MIT Coursework on Meteorology.
- National Academies, 2003. Critical Issues in Weather Modification Research, panel of the National Academies.
- National Center for Atmospheric Research, 2015. University Corporation for Atmospheric Research
- @UCAR | <https://www2.ucar.edu/news/weather-modification-and-cloud-seeding-fact-sheet>
- Risley, J., Hay, L.E., and Markstrom, S.L., 2014. Watershed Scale Response to Climate Change in Selected Basins Across the United States: USGS, 2014.
- Rosenfeld, D., and Nirel, R., 1994. Seeding Effectiveness, The Interaction of Desert Dust and the Rain Cloud Systems in Israel: Hebrew University of Jerusalem, 1994.
- S. Dennisa and and D. F. Kriegeb, 1966. Results of Ten Years of Cloud Seeding in Santa Clara County, California: American Meteorological Association.
- State of Victoria, Australia, 2008. An Overview of Cloud Seeding for a Sustainable Water Strategy.
- US Bureau of Reclamation, 213. Skywater Project: Historic Reclamation Projects, 2009 revised 2013.
- Witze, Alexander, 2014. Major cloud-seeding test gives mixed results Rigorous evaluation suggests technique produces more snow — under certain conditions, Nature Magazine.
- Weather Modification Association, 2009. Position Statement on the Environmental Impact of Using Silver Iodide as a Cloud Seeding Agent; WMA, July 2009.
- World Meteorological Organization, 2010. WMO Position on Weather Modification: Expert Team of WMO on Weather Modification Research, Abu Dhabi, 2010.
- Zook, D., 2014. New Cloud Seeding Study from Wyoming: High Country News, 2014.

EVALUATING THE ECOLOGICAL ASPECTS OF THE GRAN SABANA NATIONAL PARK

Lemuel Familia¹, Angela Guerrero² and Clifford J. Louime³

¹ Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Santo Domingo, República Dominicana. E-mail: Lemuel.Familia@ambiente.gob.do

² Universidad Autónoma de Santo Domingo, Facultad de Ciencias, Escuela de Biología - Santo Domingo, República Dominicana. E-mail: angelaaguerrero@gmail.com

³ Universidad de Puerto Rico, Facultad de Ciencias Naturales, Río Piedras, PR 00931. E-Mail: cliford.louime@upr.edu

ABSTRACT

National parks are known to provide significant biological and cultural values to society who expects a more multifaceted role from these protected areas. Such pressure to diversify their development calls for new and relevant data to inform proper management decisions. Toward this end, this study was designed to evaluate the ecological aspects of the Gran Sabana national park located in the vast plain of Neiba Valley (eastern side of the Hoya de Enriquillo) in the Dominican Republic. We discuss the main ecological factors that influence vegetation in the park (soil, climate, hydrography). For the characterization of plant associations, the area was divided into four linear transects and physical parameters, such as climate, hydrography, topography and soil, were monitored. The Gran Sabana national park had the following vegetation associations: dry forest (*Prosopis juliflora* forest, cacti forest, and native dry forest), coastal dry forest, mangroves and associated salt wetlands, and inland halophytic wetland vegetation. A total of 74 vascular plant species were registered across several vegetation types inside the park. These species are distributed among 69 genera and 42 families, of which 66% are native, 14% are endemics to Hispaniola, 11% are introduced, 5.4% are naturalized, and 4% are indeterminate. The Gran Sabana national park has a fairly high biodiversity and unique ecosystems, which have been considered as the most highly valued feature by most park visitors.

Key words National Parks, Biodiversity, Vegetation, Management.

INTRODUCTION

Establishing national parks has been one of the most significant strategies for preserving the world's natural heritage. These protected areas provide the general public with spectacular wildlife and astonishing landscapes, including magnificent multipurposed forest vegetation. On a yearly basis, these parks attract millions of visitors while at the same time providing refuge to countless unique or threatened species. In fact, the main role of national parks and other protected areas is to help protect biodiversity. However, society recently has found ways to extract more values out of

them. Some of these benefits to society have been not only social and economic, but also cultural and medical. As such, national parks represent the foundation of society's economy and wellbeing and therefore need to be preserved and maintained for future generations.

Around the world, national parks have long been considered vital habitats for animals and plants to thrive. By providing so-called safe havens or refuges for not only endangered species, these protected environments represent the keystone of biodiversity preservation. For example, in Australia alone, 70 percent of the thousands of threatened species occur in their national parks (NPA 2018). Similar data have been reported for Tanzania and

Kenya (Foulis 2018). Besides these natural benefits, national parks have also been heralded for the whole host of environmental services that they provide, such as climate mitigation, and most importantly, safeguarding water supplies. In addition to the obvious benefits they provide, national parks are known to act as natural buffer zones against extreme climatic events, thereby helping to control our climate. Other listed values include providing safe and clean water, enhancing food security, and ultimately being a significant resource for the biopharmaceutical sector.

Revenues generated by national parks through eco-tourism run in the trillions of dollars worldwide. This economic sector is particularly benefiting local populations, creating a new source employment. Nature-based tourism also supports local hotels, bed and breakfast businesses, and serve as food and fuel providers. National parks around the globe have been acting as powerful engines of economic opportunity. In sub-Saharan Africa, more than \$30 billion is poured into the economy by the tourism industry on an annual basis, which directly generates over six million jobs (Foulis 2018). Consequently, properly managed national parks can provide employment access for local communities. In addition to rangers, managers, and chefs employed in parks and lodges, there is also a much wider network of suppliers of goods servicing the parks. Ultimately, national parks offer invaluable social benefits to visitors. Most of them around the world have a rich history and culture associated with them. The famous Maasai Mara National Reserve in Kenya, and South Africa's Kruger national park, are considered 'natural history books' dating back thousands of years. These national parks and other protected areas allow for vulnerable historic sites to remain undisturbed for centuries, so that society can continue sharing their culture with the world community.

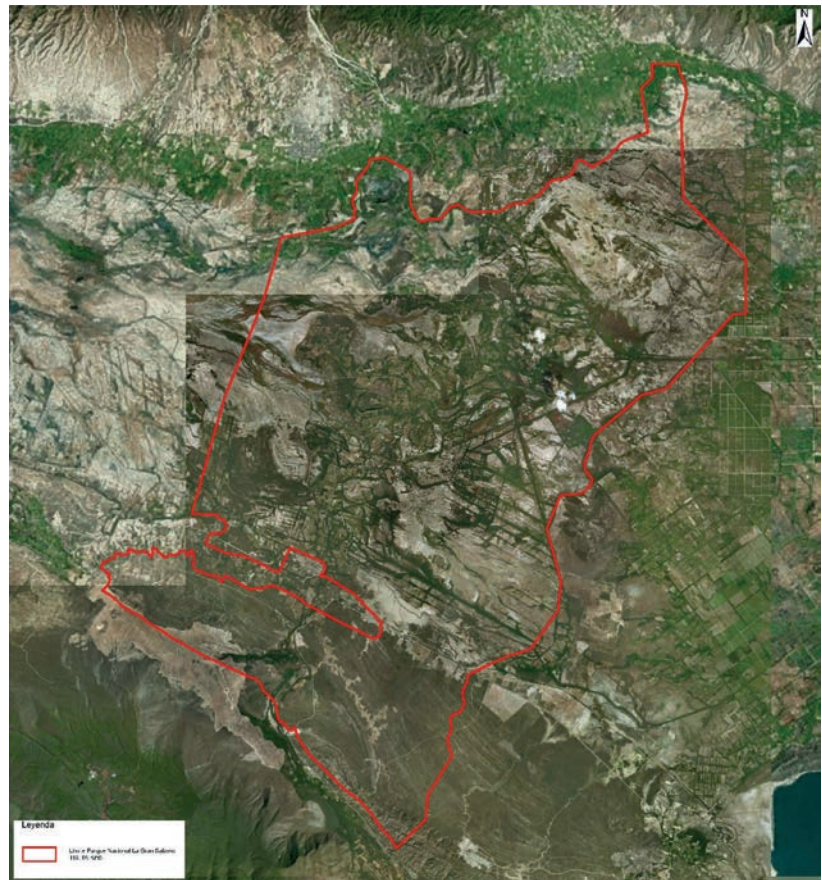


Figure 1. Boundaries (in red) of La Gran Sabana national park.

The Dominican Republic has a 25 percent of its terrestrial surface under the national system of protected areas (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2012a). The country has a high biological diversity, with very high levels of endemism and some of the most unique ecosystems in the world, such as lake Enriquillo, the largest lake in area (200 km²) and lowest in topographic position (46 meters below sea level) in the insular Caribbean (Buck et al. 2005). The Dominican Republic also has high mountain ecosystems, that at three thousand meters above sea level, are considered unique in the Caribbean islands (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2014).

One of these peculiar ecosystems is the Gran Sabana national park, which is located in the Neiba valley region, in the eastern part of the Enriquillo basin, near of the Sierra de Baboruco national park (Fig. 1). The savannah is characterized by hypersaline

soils and halophyte wetlands resulting from the lifting of the bed of an old marine channel that linked the bays of Neiba and Port-au-Prince (Díaz de Neira et al. 2007). There, the most frequent substrate is hypersaline soils sparse vegetation. These saline soils are mainly colonized by xerophytic and halophytic species (Gálvez 2010). The vegetation is characterized by succulent plants and coastal shrubs and cacti, among other halophytes. The Enriquillo basin, also called the Enriquillo valley or Neiba valley, is a large plain, very peculiar within the Caribbean region, with a semi-arid microclimate. It is considered the most arid and hottest area on the entire island (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2012b). With an east-west orientation, the basin connects the bays of Neiba and Port-au-Prince and is flanked by the Bahoruco mountain range to the south and those of Neiba and Martín García to the north (Hernaiz Huerta et al. 2010, Díaz de Neira et al. 2007).

This work evaluates the main ecological aspects that influence vegetation (soil, climate, hydrography) in the Gran Sabana national park and makes recommendations on future management plans.

METHODS

Environmental data were collected during two field trips to the national park taken on March 2013. Ecosystem descriptions were based on available literature. We used maps and existing roads for each vegetation sampling trip, taking into account attributes such as size of the area, topography, soil types, and the structure of vegetation including its strata and species composition. The classification of vegetation followed Hager and Zannoni (1993).

For flora characterization, the Gran Sabana national park was divided into four zones. For the description of the different environments, we established trails of approximately 200 and 250 m in length. A qualitative analysis was carried out to characterize the vegetation, only taking into account dominant vascular plant spe-

cies of the different units of vegetation observed. Therefore, the floristic data do not represent all of the flora of the area. Plant identification was made in the field for the most common species. For species that could not be identified in the field, samples were taken for analysis and comparison with samples from the collection of the National Botanical Garden of Santo Domingo. For endangered species, we reviewed the Red list of vascular plants of the Dominican Republic (García et al. 2016).

The nomenclature of the species was based mainly on Liogier (2000) and standardized by databases in: The plant list of Tropicos.org, and the species list of Acevedo Rodríguez and Strong (2012). Climatic data were compiled from the National Meteorology Office (ONAMET 2004) from 1971 to 2000, and compared with data from 2000 to 2012 for the station of Jimani. Regarding geology, different works and maps were reviewed, such as published in Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2012a), Secretaria de Industria y Comercio (2002), Díaz de Neira et al. (2007) and the work of Hernaiz Huerta et al. (2010).

DESCRIPTION OF THE AREA

Climate and Hydrography

The area has an arid climate (Fig. 2) and it is the driest and hottest area in the country due to the “rain shadow effect” that the Cordillera Central and the Sierra de Neiba exert when intercepting the rain fronts from the north and northeast (Díaz de Neira et al. 2007). Climatic conditions are characterized by two very dry seasons that together last from 6 to 8 months every year. The average annual rainfall is 699.9 mm (Jimani), 519.4 mm (Duverge), 538.7 mm (Neiba), 687.9 mm (Cabral) (Table 1). The rainy seasons occur between the months of April to May and between August and November (Figs. 3 to 5). The strong and dry winds that move along the entire Neiba Valley have a great influence on the vegetation with regards to

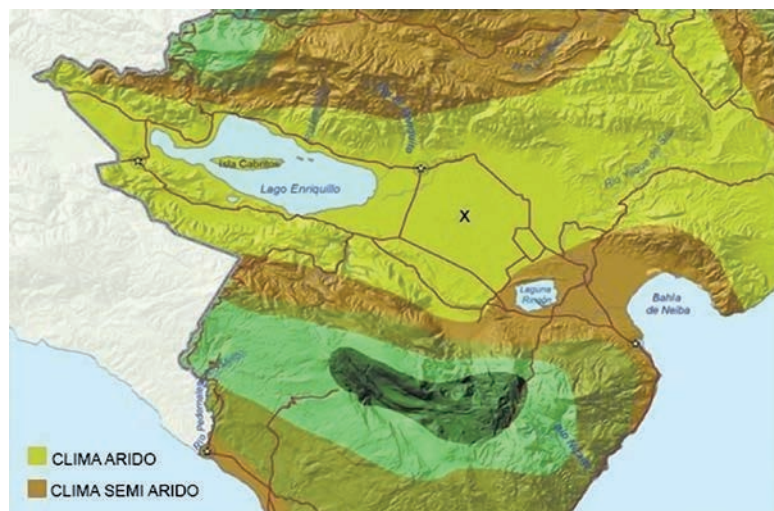


Figure 2. Map of drought index from Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales 2012a.

Tabla 1. Data (1971-2000) of four meteorological stations in areas near the study site (ONAMET 2004).

Station	Rainfall mm/y	Average Temp (C)
Jimani	699.9	28.0
Duverge	519.4	28.2
Neiba	538.7	27.1
Cabral	687.9	-

evapotranspiration (Gálvez 2010), which explains the high aridity index expressed as the quotient between precipitation and evapotranspiration (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2012b).

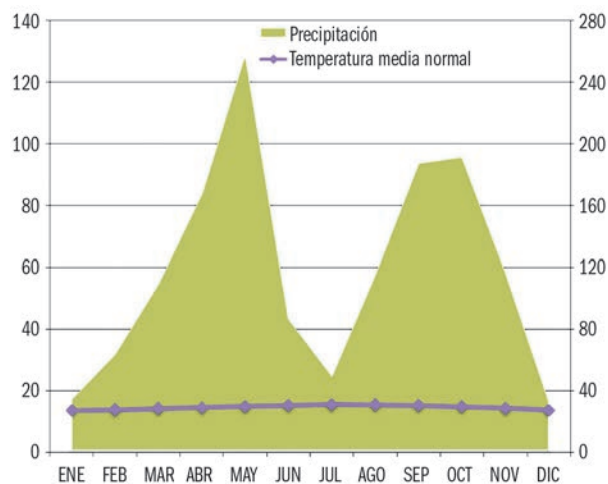


Figure 3. Climogram of the Jimani Station (2004).

Hydrography

Apart from the irrigation channels for agriculture, a good number of rivers, streams, gullies, and lagoons (seasonal and permanent), originate or cross through this area. In the flat section of the land, dominated by sandy substrates, there is a wetland area, that dries up after the rainy season. Among the main wetlands, one should mention Palo Sentao and Palo al Medio lagoons, Bermesí river, and the Cristobal channel (Fig. 6).

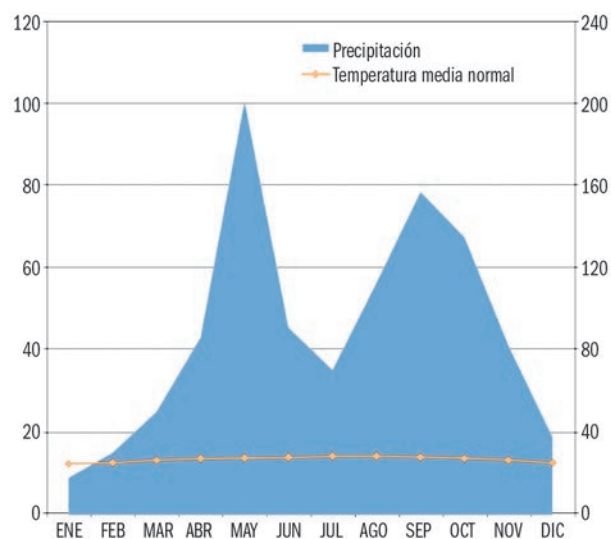


Figure 4. Climogram of the Neiba Station, ONAMET (2004).

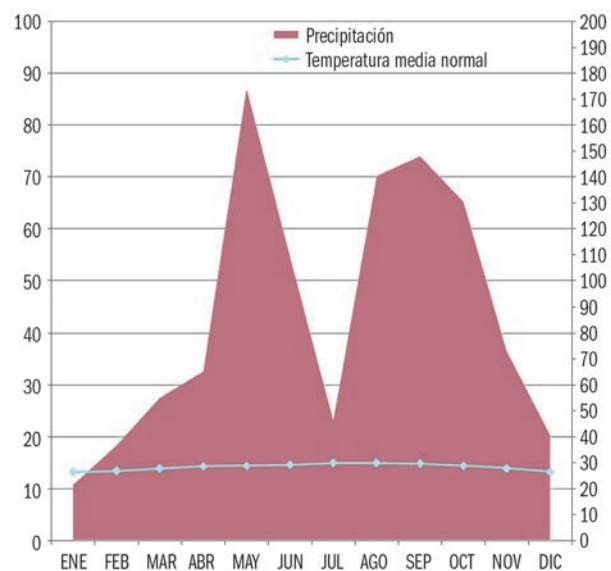


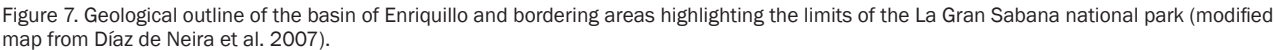
Figure 5. Climogram of the Duverge Station, ONAMET (2004).



The topography in this park is mostly flat, with some elevation in the northwest corner, such as Loma La Sal and areas of the foothills of the Sierra de Bahoruco. The majority of the soil in this national park is formed by lacustrine sediments of the basin of Enriquillo. The age of this type of soil dates from the recent Quaternary (Fig. 7, Díaz de Neira et al. 2007).

In the area where the Sierra de Bahoruco begins to rise, the soils are composed of reef limestone, sand, conglomerate, marine molasa, littoral facies (Arroyo Blanco type), and fluvial deposits. There are also soils of marine molasa

Figure 6. Map of rivers in The Gran Sabana national park (Source: Ministry of Environment and Natural Resources).



origin, evaporite facies (gypsum, rock salt), and undifferentiated quaternary deposits (Secretaría de Industria y Comercio 2002).

Flora and Vegetation

We enumerated 74 species of vascular plants distributed in 69 genera within 42 families. Of the total recorded species, 66 percent are native, 14% percent are endemic to the Hispaniola island, 11% are introduced, 5.4% are naturalized, and 4% are undetermined. Among the 74 species reported, 19 threatened species were identified (García et al. 2016, Table 2). The species recorded here are a representative sample of the park's flora. Based on their life form, 31 species are trees, 12 are shrubs, 17 are herbs, two are epiphytes, two are palms, one is a climbing species, and eight are succulents (Table 3). In the study area, the types of vegetation present were dry forest with *Prosopis juliflora*, dry forest with cactaceae, native dry forest, riparian forest of dry zone, mangroves, and associated halophytic vegetation of the interior or wetland vegetation (Hager and Zanoni 1993).

Results by Zones

North, southeast, and west transects: The most widespread vegetation type in the park, is the halophytic vegetation of the interior, which is the most typical vegetation in the park, also named brackish plains, according to Hager and Zanoni (1993). The vegetation of these three transects is very similar since it develops on saline, sandy, and clay soils. Lagoons are formed during the rainy season in the lowest and less drained areas with accumulation of clay. These lagoons can be formed by inundation of the plains by small springs of fresh or sulphur water. The water dissipates only by evaporation. Thus, the level of salinity depends mainly on rainfall. Soils of alluvial origin are sandy, and those close to water are muddy, with anaerobic conditions, gray or black, and alkaline. Sometimes the salinity can

Table 2. List of endangered plant species in La Gran Sabana national park (Lista roja de la flora vascular de la Republica Dominicana. García et al. 2016).

Status	Threat Level	Common Name	Scientific Name
ACANTHACEAE			
N	VU	Black Mangrove	<i>Avicennia germinans</i> (L.) L.
ASPARAGACEAE			
E	VU	Century Plant	<i>Agave antillarum</i> Des-court
ARECACEAE			
E	VU	Royal Palm	<i>Roystonea hispaniolana</i> Bailey
E	VU	Dominican Palm	<i>Sabal domingensis</i> Becc.
BROMELIACEAE			
N	VU	Spanish Moss	<i>Tillandsia usneoides</i> L.
CACTACEAE			
E	CR	Dragon fruit, pitahaya	<i>Harrisia nashii</i> Briton
N	EN	West Indian Nipple-Cactus	<i>Mammillaria prolifera</i> (Mill.) Haw.
E	CR	Melon Cactus	<i>Melocactus le-mairei</i> (Monv. ex Lem.) Miq. ex Lem.
E	EN	Cagüey	<i>Leptocereus paniculatus</i> (Lam.) D.R. Hunt
N	VU	Pricklypear	<i>Opuntia dillenii</i> (Ker Gawl.) Haw.
N	VU	Deering's Tree Cactus	<i>Pilosocereus polygonus</i> (Lam.) Boyles & G.D. Rowley
COMBRETACEAE			
N	VU	Grí-grí or bullet tree	<i>Bucida buceras</i> L.
N	VU	Bottonwood	<i>Conocarpus erectus</i> L.
FABACEAE			
N	EN	Divi-divi Tree	<i>Caesalpinia coriaria</i> (Jacq.) Willd.
N	VU	Lancepods	<i>Lonchocarpus longipes</i> Urb. & Ekman
MELIACEAE			
N	VU	West Indian mahogany	<i>Swietenia mahagoni</i> (L.) Jacq.
ROSACEAE			
N	VU	West Indies Cherry	<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb
SAPOTACEAE			
N	EN	Caimito, Star apple	<i>Chrysophyllum cainito</i> L.
ZYGOPHYLLACEAE			
N	VU	Guaiaac wood	<i>Guaiaacum officinale</i> L.

Legend:

Status (ST): N- Native, E- Endemic, Nat- Naturalized, I- Introduced.

Threat Category: VU- Vulnerable, EN- Endangered, PC- Critically endangered.

be higher than seawater, especially in the dry season (Hager and Zanoni 1993). This soil (mainly the clayish) cracks in form of polygons during the dry season. Much of the substrate remains without vegetation cover (Fig. 8). The islands of vegetation often correspond to a single species of shrub or herbaceous vegetation (Hager and Zanoni 1993). Among the dominant species in these islands of vegetation are *Batis maritima*

Table 3. List of Plants In The Gran Sabana National Park.

Family / Species	Common Name in the Dominican Republic	LF	ST	WV	RF	SDF	M	DF
AIZOACEAE								
<i>Sesuvium portulacastrum</i> (L.) L.		H	N	x				
ANACARDIACEAE								
<i>Mangifera indica</i> L.	Mango	A	Nat					
ANNONACEAE								
<i>Annona muricata</i> L.	Guanábana	A	N		x			
APOCYNACEAE								
<i>Plumeria</i> sp.		Ar	-		x	x		
<i>Tabernaemontana citrifolia</i> L.	Palo de leche	Ar	N		x			
ARECACEAE								
<i>Roystonea hispaniolana</i> Bailey	Palma real	Et	E		x			
<i>Sabal domingensis</i> Becc.	Palma cana	Et	E		x			
AVICENNIA								
<i>Avicennia germinans</i> (L.) L.	Mangle negro	A	N				x	
ASTERACEAE								
<i>Pluchea carolinensis</i> (Jacq.) G. Don	Salvia	H	N		x			
ASPARAGACEAE								
<i>Agave antillarum</i> Descourt.	Maguey de bestia	Sh	E					x
BATACEAE								
<i>Batis maritima</i> L.		H	N	x			x	
BIGNONIACEAE								
<i>Catalpa longissima</i> (Jacq.) Dum.-Cours.	Roble	A	N		x			
BORAGINACEAE								
<i>Cordia salvifolia</i> Juss. exPoir.		Ar	E		x			
<i>Heliotropium curassavicum</i> L.		H	N	x				
BROMELIACEAE								
<i>Tillandsia recurvata</i> (L.) L.	Piña de alambre	Ep	N			x		
<i>T. usneoides</i> (L.) L.	Guajaca	Ep	N		x			
CACTACEAE								
<i>Cylindropuntia caribaea</i> Britt. & Rose Knuth	Guasábara	Sh	N			x		x
<i>Harrisia nashi</i> Britt. & Rose	Pitajaya	Sc	E			x		x
<i>Leptocereus paniculatus</i> (Lam.) D.R. Hunt.	Cagüey	St	E			x		x
<i>Mammillaria prolifera</i> (Mill.) Haw.	Bombillito	Sh	N					x
<i>Melocactus lemairei</i> (Monv. ex Lem.) Miq. ex Lem.	Melón espinoso	Sh	E			x		x
<i>Opuntia dillenii</i> (Ker-Gawl) Haw.	Tuna brava	Sh	N			x		x
<i>Pilosocereus polygonus</i> (Lam.) B. & R.	Cayuco	St	E			x		x
CALOPHYLLACEAE								
<i>Calophyllum calaba</i> L.	Mara	A	N		x			
CAPPARACEAE								
<i>Quadralla cynophallophora</i> L.		A	N		x			x
<i>Q. ferruginea</i> L.	Olivo	A	N		x			
<i>Q. indica</i> (L.) Fawc. & Rendle		Ar	N		x			
CARICACEAE								
<i>Carica papaya</i> L.	Lechoza	H	N					
COMBRETACEAE								
<i>Bucida buceras</i> L.	Grí-grí	A	N		x			
<i>Conocarpus erectus</i> L.	Mangle botón	A	N				x	
<i>Terminalia catappa</i> L.	Almendra	A	Nat					
CUCURBITACEAE								
<i>Cucurbita pepo</i> L.	Auyama	V	I					
CYPERACEAE								
<i>Eleocharis interstincta</i> (Vahl) Roem. & Schult.	Junquillo	H	N	x				
<i>Fimbristylis</i> sp.		H	N	x				
<i>Scirpus</i> sp.		H	N	x				
EUPHORBIACEAE								
<i>Adelia ricinella</i> L.		Ar	N					
<i>Croton</i> sp.		H	*		x			x
<i>Manihot esculenta</i> Crantz	Yuca	Ar	IC					

Sesuvium portulacastrum (Fig. 9), *Distichlis spicata*, *Heliotropium curassavicum*, *Fimbristylis* sp., and *Scirpus* sp. Also present are scattered trees of *Prosopis juliflora* and *Leptocereus paniculatus*. In wetland areas (Fig. 10) the predominant species are: enea (*Typha domingensis*), *Batis maritima*, and junquillo (*Eleocharis interstincta*).

In the less saline sites, which are usually a little higher in elevation, dry forest stands are dominated by *Prosopis juliflora*, with an intermediate layer that can be composed of cacti. Among the species present; *Leptocereus paniculatus*, *Pilosocereus polygonus*, *Cylindropuntia caribaea*, *Opuntia dillenii* (Fig. 11 and 12), *Harrisia nashi*, and *Melocactus lemairei* are included.

Mangrove and Associated Salt Marshes

This vegetation unit consists mainly of buttonwood mangrove (*Conocarpus erectus*) and black mangrove (*Avicennia germinans*), which is not as abundant as the buttonwood mangrove. The understory is covered by *Batis maritima*, and around water bodies, the mangrove fern (*Acrostichum aureum*) appears.

Table 3. (continued) List of Plants In The Gran Sabana National Park.

Family / Species	Common Name in the Dominican Republic	LF	ST	WV	RF	SDF	M	DF
FABACEAE								
<i>Vachellia macracantha</i> H. & D.	Cambrón	Ar	N		x			
<i>Caesalpinia coriaria</i> (Jacq.) Willd.	Guatapaná	A	N					x
<i>Haematoxylon campechianum</i> L.	Campeche	A	N		x			
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	Lino criollo	A	I					
<i>Lonchocarpus longipes</i> Urb.	Anón de río	A	N		x			
<i>Pithecellobium circinale</i> (L.) Benth.		A	N		x			
<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	Bayahonda, Cambrón	A	N		x	x		x
<i>Senna atomaria</i> (L.) Irw. & Barn.	Palo de chivo	Ar	N					
<i>Tamarindus indica</i> L.	Tamarindo	A	Nat					
<i>Senegalia skleroxyla</i> (Tussac) Seigler & Ebinger	Candelón	A	E		x			
LAMIACEAE								
<i>Gmelina arborea</i> Roxb.		A	I		x			
MALVACEAE								
<i>Gossypium barbadense</i> L.	Algodón	Ar	N					x
<i>Pavonia coccinea</i> Cav.		H	N		x			
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Guázuma	A	N		x			
MELIACEAE								
<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	Nim	A	I		x			
<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer	Cabirma	A	N		x			
<i>Swietenia mahagoni</i> (L.) Jacq.	Caoba	A	N					
<i>Trichilia hirta</i> L.	Jobobán	A	N		x			
MORACEAE								
<i>Ficus trigonata</i> L.	Higo	A	N					
MUSACEAE								
<i>Musa paradisiaca</i> L.	Plátano	H	I					
PASSIFLORACEAE								
<i>Passiflora edulis</i> Sims	Chinola	L	Nat					
POACEAE								
<i>Distichlis spicata</i> (L.) Greene		H	-	x				
<i>Saccharum officinarum</i> L.	Caña de azúcar	H	IC					
<i>Zea mays</i> L.	Maíz	H	I					
POLYGONACEAE								
<i>Coccoloba diversifolia</i> Jacq.	Uva de sierra	A	N		x			
RHAMNACEAE								
<i>Ziziphus rignoni</i> Delp.	Saona	A	N		x			
ROSACEAE								
<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb.	Almendrito	A	N		x			
SAPOTACEAE								
<i>Chrysophyllum cainito</i> L.	Caimito	A	N		x			
SIMAROUBACEAE								
<i>Simarouba amara</i> Aubl.	Juan primero	A	N		x			
SOLANACEAE								
<i>Solanum microphyllum</i> (Lam.) Dunal		Ar	E		x			
<i>Solanum</i> sp.		Ar	-		x			
TURNERACEAE								
<i>Turnera diffusa</i> Willd.	Orégano silvestre	Ar	N					x
TYPHACEAE								
<i>Typha domingensis</i> Pers.	Enea	H	N	x				
ZYGOPHYLLACEAE								
<i>Guaiacum officinale</i> L.	Guayacán	A	N		x	x		x
PTERIDACEAE								
<i>Acrostichum aureum</i> L.	Helecho de manglar	H	N		x		x	
DAVALLIACEAE								
<i>Nephrolepis multiflora</i> (Roxb.) F.M. Jarrett ex C.V. Morton		H	N		x			

Legend:

Life form (LF): A- Tree, Ar- Shrubs, Ep- Epiphyte, Et- Stipites, H- Herbaceous, L- Liana, P- Parasite, V- Vines, Sh- Succulent herbaceous, St- Succulent tree, Sc- Succulent climbing. **Status (ST):** N- Native, E- Endemic, Nat- Naturalized, I- Introduced.

Type of vegetation: WV- Wetland vegetation, RF- Riparian forest, DF- Dry forest, SDF- Sandy soil dry forest, M- Mangrove.

Vegetation of the Southern Transect

Vegetation present in this transect are secondary dry forest, native dry forest and the dry forests along the river-bank (Hager and Zanoni 1993). Loma La Sal is one of the sites where there are still patches of natural dry forest, characterized by semideciduous trees of medium height, no more than 10 m. The shrub and herbaceous layer are underdeveloped (Hager and Zanoni 1993). The species of this forest drop their leaves in the dry season, the duration of the deciduousness varies with precipitation and the duration of the drought (Hager and Zanoni 1993).

The most abundant species in the area of Loma La Sal is guatapaná (*Caesalpinia coriaria*), and smaller trees like guayacán (*Guaiacum officinale*) and frijolito (*Quadralla cynophallophora*). In the area close to the road, the presence of cambrón (*Prosopis juliflora*) increases probably due to the edge effect.

In Loma La Sal cacti species are more abundant including cagüey (*Neoabbottia paniculata*), tuna brava (*Opuntia dillenii*), guasábara (*Cylindropuntia caribaea*), cayuco (*Pilosocereus polygonus*), spiny melon (*Melocactus lemairei*), and bombilli-



Figure 8. Scattered vegetation.



Figure 11: *Prosopis juliflora* forest.



Figure 9. *Sesuvium portulacastrum*.



Figure 12: Cactus forest.



Figure 10. Wetland Los Grajos.

tos (*Mammillaria prolifera*). The herbaceous layer is not very diverse. However, we found wild oregano (*Turnera diffusa*) and several species of *Croton*.

The southern transect had a dry riparian forest by rivers and streams that originated in the Sierra de Ba-

horuco and drained into lake Enriquillo in the interior of the park. An example of this type of vegetation was found in the vicinity of the La Asequia river. In this transect, it is possible to observe the difference between riparian forest and dry forest (Fig. 13). The vegetation responds to a micro climatic gradient that coincides with the topography of the location. The course of the stream is surrounded by small elevations covered with xerophytic vegetation and the humidity is trapped in the lower area, which favors the development of riparian arboreal vegetation that reaches a canopy height of more than 15 m, contrasting with the typical dry forest vegetation of the surrounding hills.

The riparian forests form a strip, because they require moisture for their development (SEA/DVS 1990). The most abundant tree species are: royal palm

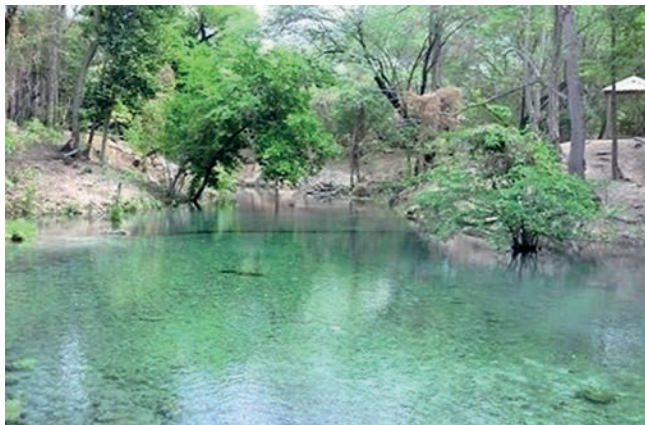


Figure 13. Riparian forest along arroyo La Sequía.



Figure 14. Extensive livestock in the national park.

(*Roystonea hispaniolana*), campeche (*Haematoxylon campechianum*), cana palm (*Sabal domingensis*), candelón (*Senegalia skleroxyla*), guayacán (*Guaiacum officinale*), bayahonda (*Vachellia macracantha*), cambrón (*Prosopis juliflora*), guásuma (*Guazuma ulmifolia*), almendrito (*Prunus myrtifolia*), caimito (*Chrysophyllum caimito*), mountain grape (*Coccoloba diversifolia*), juan primero (*Simarouba amara*), roble (*Catalpa longissima*), and smaller trees such as maría (*Calophyllum calaba*),

cabirma (*Guarea guidonia*), river anon (*Lonchocarpus longipes*), frijolito (*Quadrella cynophallophora*, *Q. indica*, *Q. ferruginea*), and palo de leche (*Tabernaemontana citrifolia*).

In the shrub layer the most notorious species are: sage (*Pluchea carolinensis*), and *Solanum mycrophyllum*. In the herbaceous layer, there are not too many species, only a few managed to settle at the edge of roads, as is the case of the *Pavonia coccinea*, and seedlings of some of the shrub and arboreal species.



Figure 15. Preparation of coal furnace (left) and burnt wood (charcoal) inside the national park.

Figure 16. Plantation of banana (*Musa paradisiaca*, left) and land clearing inside the national park for agricultural activities.

Threats

The main threats observed in the Gran Sabana are: extensive cattle ranching (Fig. 14), deforestation for charcoal (Fig. 15), crops and agricultural settlements (Fig. 16), and contamination by solid waste

DISCUSSION

The forests in the Gran Sabana national park have been classified within the group of semideciduous forests according to Hager and Zanoni (1993) who describe the dry riparian forest in the area of the Enriquillo lake basin, on the slopes of the Sierra de Bahoruco and Sierra de Neiba. In our study, only one recorded species was common

Tabla 4/. Rainfall data from the Jimaní Station, ONAMET (2000-2012).

Year	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	PROM
TOTAL mm/y	833.9	488.4	510.1	654.7	871.9	929.3	963.9	1084.0	757.1	694.9	807.1	879.5	1037.3	808.6

with the characteristic species of the study cited above which is *Calophyllum calaba*. However, *Guarea guidonea* and *C. calaba* are typical species of riparian forest on the island of Hispaniola (SEA/DVS 1990, Pichardo and Guerrero 2013). García and Clase (2002), describe the riparian vegetation for the lowlands of Sierra Martín García, which is floristically similar to that of the Gran Sabana national park. The most common species are: *Catalpa longissima*, *Sabal domingensis*, *Coccoloba diversifolia*, and the shrubs, *Tabernaemontana citrifolia*, and *Senna atomaria*.

Gálvez (2010) stated that in regions of extreme aridity like ours, soil organic matter is practically non-existent and the vegetation cover is reduced to small dispersed areas as we observed. However, in spite of the bioclimatic characteristics of the location, four different types of environments are described in only 219.57 km², ranging from saline soils, brackish wetlands, and freshwater bodies (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2012a, 2013; Fig. 6), but the main factor which influences the distribution of vegetation is the scarcity of water.

In the flat areas and saline soil, a formation of halophyte vegetation developed (Hager and Zanoni 1993), but for other authors, this vegetation is considered an edaphic type primary savanna, as defined by Demangeot in Martínez Batlle and Cámara (2002). When classifying savannas from an evolutionary, ecological, and geomorphological point of view, Martínez Batlle and Cámara (2002) demonstrated that primary savannas existed long before anthropic intervention favored it. But from the phytosociological point of view, this vegetation is not properly a savannah because grasses do not predominate (Sarmiento 1990, Jacobs et al. 1999).

According to ONAMET, station, the average rainfall from 2000 to 2012 at the Jimani was 808.6 mm (Table 4). When compared with data from 1971 to 2000 by ONAMET (2004), there was an increase in rainfall

of almost 20 percent. Izzo (2011) and Pérez and Jury (2012) analyzed data that show significant changes in temperature and rainfall patterns on the island. They also highlighted a tendency towards a decrease in total amount of precipitation and a change in the rainfall pattern in the southwest, but it is necessary to study the same volume of data to be comparable and be able to confirm the trend. Izzo (2011) observed a decrease in rainfall in the stations located in the leeward (southern slope) of the main mountain ranges and a slight increase in the windward zone (northern slope). Although the station of Jimaní is in the leeward zone of the mountain range of Neiba, the average precipitation increased, contrasting with the results of both studies.

This considerable increase in precipitation is believed to be due to La Niña, a regional climatological event that is part of a global natural cycle of the climate known as El Niño-Southern Oscillation (ENSO). In 2007, the region registered high rainfall (hurricanes, storms, tropical waves, etc.) in relation to previous years (1998-2001, 2010, 2011-2012) in the Atlantic-Caribbean region (Brenes and Bonilla 2012). One of the most catastrophic events was the storm Noel, especially in the southwestern part of the country. In some areas the rainfall recorded in 6 days exceeded 700 mm, more than two thirds of the average annual rainfall for this area (Izzo et al. 2010). In addition, La Niña 2010 qualifies as one of the most intense of the last 30 years. In total, there were 19 tropical storms and 12 hurricanes, including Alex, Thomas, and Nicole. Of those hurricanes, 5 were on magnitude 3 on the Saffir – Simpson scale (Brenes and Bonilla 2012).

The floristic diversity of the area is not very rich in part because the flora of hypersaline environments has to develop adaptations that allow tolerance to extreme situations such as the low availability of water in the soil (Gálvez 2010) and salinity (Álvarez Rogel et al.

1997). These species must thrive under high solar radiation, atmospheric dryness, and warm wind, which are limiting factors for their survival (Poblete et al. 1991). This could explain the low floristic diversity registered in the area, when compared with other humid environments (García and Clase 2002).

The most common adaptations of the flora include, decrease in leaf size, thickening of cuticles that reduce the volume of transpiration (Álvarez Rogel et al. 1997, Poblete et al. 1991), and presence of abundant spines (García and Clase 2002). Perea (2008) studied these adaptation mechanisms in *Vachellia macracantha*. The stem and leaf succulence, which accumulates and isolates salts to avoid toxicity and compensate osmotic pressure, the ability to use sodium and other specific ions for osmotic adjustment (Álvarez Rogel et al. 1997), and selective absorption have also been studied in *Batis maritima* (Debez et al. 2010) and in *Avicennia germinans* (Suárez et al. 1998, Sobrado 2000), *Avicennia* also possess trichomes, hairs, and other salt excretory glands (Álvarez Rogel et al. 1997). In the same way, many species of the dry forest share similar characteristics (Villagra et al. 2011). These are not specific morphological characteristics of any taxon, but are characteristics displayed in response to environmental pressures (Pianka 1982). This suggests that some plant groups have to develop similar adaptations to stress by phenotypic plasticity and other mechanisms of convergent evolution.

In spite of the high degradation to which a large part of the La Gran Sabana national park has been subjected, due to agriculture, cattle ranching, and charcoal burning; some areas maintain important examples of halophyte and wetland vegetation. In addition, there are remnants of the dry forest, water sources, rivers and streams, which house a large number of invertebrate (insects, arachnids, and mollusks) and vertebrate species (amphibians, reptiles, and birds). Especially in this last group, many of them are endemic, native, and migratory, and some of them are threatened in categories of critically endangered, endangered, and vulnerable (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013).

Available data collected from the Gran Sabana national park revealed the high biodiversity level of the park. This protected area is an extensive outdoor laboratory and a perfect location for scientific investigation. For example, this park can play a valuable role in documenting climate change. With the encouragement of tourists and visitors to the park, this type of documentation become more important than ever. According to Germanwatch, a climate change watchdog, the Dominican Republic has been listed as the 11th country in the world most affected by the negative effects of global climate change. The vast tracts of wilderness in the Gran Sabana national park, can be utilized to collect data on species and habitats, collecting observational longitudinal data to document the effects of climate change on plant and animal species. Such data collection can help with possible 'assisted migration' where some animals and plants will be relocated to survive the park's changing landscapes. Climate change-provoking drought, wildfires, and pest infestations, have increased tree mortality in national parks since 1955. And when one considers that the idea behind the creation of national parks, was to protect them and leave them unimpaired for future generations, there is an urgent current call to action relating to proper management of national parks and other protected areas.

ACKNOWLEDGEMENTS

To the Ministry of Environment of the Dominican Republic for providing funds for field trips; to Teodoro Clase, BSc, for the help in plant taxonomy; to the professors: Jose R. Batlle, Michella Izzo, and Manuel Valdez, for their valuable contributions to this work, and Ignacio Fernandez for the realization of the maps.

LITERATURE CITED

Acevedo Rodríguez, P. and M. T. Strong. 2012. Catalogue of seed plants of the West Indies. Smithsonian Contributions to Botany 98:1-1192.

- Álvarez Rogel, J., R. Ortiz Silla, and F. Alcaraz Ariza 1997. Tipología de suelos, zonación de la vegetación y gradiente edáfico en un saladar costero del sureste de España. *Edafología* 3:257-269.
- Brenes, A. and A. Bonilla. 2012. La Niña 2010-2012. Estudio de caso Costa Rica. Santiago de Cali: Programa institucional de gestión del riesgo de desastres. Universidad Nacional (PIGRD/UNA).
- Buck, D. G., M. Brenner, D. A. Hodell, J. H. Curtis, J. B. Martin, and M. Pagani. 2005. Physical and chemical properties of hypersaline Lago Enriquillo, Dominican Republic. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen* 29(2):725-731.
- Debez, A., D. Saadaoui, I. Slama, B. Huchzermeyer, and C. Abdelly. 2010. Responses of *Batis maritima* plants challenged with up to two-fold seawater NaCl salinity. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 173(2):291-299.
- Díaz de Neira, J. A., A. Martín-Serrano, F. Pérez Cerdán, and J. Escuer. 2007. Aplicación de la cartografía de procesos activos en la Hoya de Enriquillo (Suroeste de la República Dominicana). *Boletín Geológico y Minero* 118(2):401-414.
- Foulis, B. 2018. Endangere species of East Africa. <https://www.asil-iaafrica.com/endangered-species-of-east-africa/>.
- Gálvez, J. F. 2010. El recurso suelo-agua en medios áridos y semiáridos. C4 y CAM. Características generales y uso en programas de desarrollo de tierras áridas y semiáridas: Homenaje del doctor Julio López Gorgé.
- García, R and T. Clase. 2002. Flora y vegetación de la zona costera de las provincias Azua y Barahona, República Dominicana. *Moscoso* 13:127-173.
- García, R., B. Peguero, F. Jiménez, A. Veloz, and T. Clase. 2016. Lista roja de la flora vascular en República Dominicana. *Jardín Botánico Nacional* Dr. Rafael M. Moscoso, Santo Domingo. 763p.
- Hager, J. and T. Zanoni. 1993. La Vegetación natural de la República Dominicana. Una nueva clasificación. *Moscoso* 7:39-81. Santo Domingo, República Dominicana.
- Hernaiz Huerta, P. P., J. A. Díaz de Neira, J. García-Senz, I. Deschamps, A. Genna, N. Nicole, and A. Pérez-Estaún. 2010. La estructura del suroeste de la República Dominicana: un ejemplo de deformación en régimen transpresivo. *Boletín Geológico y Minero* 118(2):337-358.
- Izzo, M., C. M. Rosskopf, P. P. Aucelli, A. Maratea, R. Méndez, C. Pérez, and H. Segura. 2010. A new climatic map of the Dominican Republic based on the Thornthwaite classification. *Physical Geography* 31(5):455-472.
- Izzo, M. 2011. Analisi del clima e le dinamiche climatiche nella Repubblica Dominicana e delle relative influenze sul territorio. PhD Thesis, University of Molise, Campo Vasso, Italy.
- Jacobs, B. F., J. D. Kingston, and L. L. Jacobs. 1999. The origin of grass-dominated ecosystems. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 86:590-643.
- Liogier, A. H. 2000. Diccionario botánico de nombres vulgares de La Española (2da ed.). Santo Domingo, República Dominicana: Jardín Botánico Nacional, Dr. Rafael M. Moscoso.
- Martínez Batlle, J. R. and R. Cámara. 2002. Sabanas de la República Dominicana: análisis ecodinámico de patrones tipológicos y sus ecotonos. Proyecto de investigación de doctorado de la Universidad de Sevilla.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2012a. Atlas de biodiversidad y recursos naturales de la República Dominicana. Editora Amigo del Hogar, C. por A. Santo Domingo, República Dominicana.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2012b. Datos climatológicos. Santo Domingo, República Dominicana.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2013. Evaluación ecológica rápida en el parque nacional La Gran Sabana, Provincias Independencia y Bahoruco. Santo Domingo, República Dominicana.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2014. Quinto informe nacional de biodiversidad de la República Dominicana. Santo Domingo, República Dominicana. 80 p.
- NPA (National Park Association). 2018. Why are National Parks Important? <https://npansw.org/what-we-do/why-are-national-parks-important/>
- ONAMET. 2004. Atlas climático de República Dominicana. Santo Domingo, República Dominicana.
- Perea, B. E. L. 2008. Selección de especies adecuadas para forestar y reforestar la ciudad Arequipa. Departamento de Arequipa, Perú.
- Pérez, C. R. and M. R. Jury. 2012. Spatial and temporal analysis of climate change in Hispaniola. *Theoretical and Applied Climatology*, Online First. DOI 10.1007/s00704-012-0781.
- Pianka E. R. 1982. *Ecología evolutiva*. Ediciones Omega, Barcelona, España.
- Pichardo, F. and A. Guerrero. 2013. Caracterización de las comunidades vegetales de la zona ribereña de la sección media del río Isa, provincia San Cristóbal (tesis de grado). Universidad Autónoma de Santo Domingo. Santo Domingo, República Dominicana.
- Poblete, V., V. Campos, L. González, and G. Montenegro. 1991. Anatomical leaf adaptations in vascular plants of a salt marsh in the Atacama Desert (Chile). *Revista Sociedad Chilena Historia Natural* 64:65-75.
- Sarmiento, G. 1990. Las sabanas americanas: Aspecto de su biogeografía, ecología y utilización: simposio organizado en Guanare, Venezuela, bajo el auspicio del programa Década de los Trópicos (IUBS, MAB-UNESCO). Centro de Investigaciones Ecológicas de los Andes Tropicales, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes.
- SEA/DVS. 1990. La diversidad biológica en la República Dominicana. Secretaría de Estado de Agricultura/Departamento de Vida Silvestre, con el apoyo del Servicio Alemán de Cooperación Social Técnica (DED) y el Fondo Mundial para la Vida Silvestre (WWF-US). Santo Domingo, República Dominicana. 265 p.
- Secretaría de Industria y Comercio. 2002. Mapa geológico de la República Dominicana a escala 1:250.000. Dirección General de Minería, Santo Domingo, República Dominicana.
- Sobrado, M. A. 2000. Leaf photosynthesis of the mangrove *Avicennia germinans* as affected by NaCl. *Photosynthetica* 36(4):547-555.
- Suárez, N., M. A. Sobrado, and E. Medina. 1998. Salinity effects on the leaf water relations components and ion accumulation patterns in *Avicennia germinans* (L.) L. seedlings. *Oecologia* 114(3):299-304.
- Villagra, P., E. C. Giordano, J. A. Álvarez, J. Bruno Cavagnaro, A. Guevara, C. Sartor, C. B. Passera, and S. Greco. 2011. Ser planta en el desierto: estrategias de uso de agua y resistencia al estrés hídrico en el Monte Central de Argentina. *Ecología Austral* 21:29-42.

EL HURACÁN MARÍA EN AÑASCO Y SUS EFECTOS EN SISTEMAS SOCIALES-ECOLÓGICOS DEL NORTE Y OESTE DE PUERTO RICO

Oscar J. Abelleira Martínez

Departamento de Ciencias Agroambientales
Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, P.R.

Resumen

Este ensayo documenta eventos, observaciones y percepciones basadas en el paso del huracán María sobre Puerto Rico en septiembre de 2017 y los meses siguientes que constituyeron el periodo de emergencia, enfocándose en el efecto del huracán sobre los sistemas ecológicos y sociales, y la respuesta de éstos. Las observaciones se basan en el paso del huracán sobre el pueblo de Añasco y sobre los sistemas sociales y ecológicos del norte y oeste de Puerto Rico, resaltando las interacciones que se dieron entre componentes de ambos sistemas. El ensayo ilustra que los efectos del huracán sobre sistemas sociales y ecológicos, al igual que la respuesta de éstos, fue contextual y dependiente en las condiciones abióticas, bióticas o sociales a escala local. Aunque las observaciones sugieren un mayor rol del azar en sistemas ecológicos, la respuesta de éstos pareció ser más rápida y eficiente que la respuesta de sistemas sociales. A partir de la documentación, ilustro algunos asuntos que merecen atención de la ciudadanía, comunidades y sistemas de gobernanza para mejorar la respuesta del sistema social puertorriqueño a huracanes, resaltando la importancia de la memoria colectiva para desarrollar un sistema resiliente.

Palabras clave bosques tropicales, Caribe, ecosistemas noveles, eventos extremos, resiliencia, respuesta social-ecológica.

Agua del cielo cayó.

Sobre la tierra llovía.

Mientras el arca de Noé,

navegó día y noche,

por meses y días.

Nito Méndez, El Arca de Noé

INTRODUCCIÓN

El siguiente manuscrito fue redactado basado en eventos que se dieron en su mayoría en o cerca del barrio Piñales de Añasco y en bosques ubicados a través

del norte y oeste de Puerto Rico, a partir de notas tomadas durante los seis meses del “periodo de emergencia” que sucedió al huracán María. Las notas fueron sintetizadas en un texto durante los días del 13 de octubre y 28 de diciembre de 2017, y 3 de enero y 19 de febrero de 2018. El manuscrito final fue revisado en mayo de 2018 y nuevamente en mayo de 2019. Traté de no alterar el contenido original del manuscrito significativamente desde que fue preparado y completado inicialmente en su primer borrador en febrero de 2018, a seis meses del paso de los huracanes Irma y María en septiembre de 2017. Incluyo nombres científicos en el caso de árboles y plantas que pude identificar a especie, y nombres

comunes para la fauna. El manuscrito pretende documentar eventos asociados al efecto del huracán sobre el estado y respuesta del sistema ecológico y social que pude observar a mi alrededor, incluyendo los eventos cotidianos y estados de ánimo personal que transcurrieron durante esos meses, y orientarlos de forma tal que contribuyan al desarrollo de estrategias que permitan que los puertorriqueños estén mejor preparados para el próximo evento.

EL HURACÁN MARÍA EN AÑASCO

El huracán María se comenzó a sentir en la urbanización donde se ubica mi hogar en el barrio Piñales en Añasco, al pie de monte al sur del cerro Atalaya y colindando con la llanura del río Grande de Añasco, desde las 3:00PM del martes 19 de septiembre de 2017 con intensidad de tormenta tropical. La intensidad fue aumentando hasta alcanzar fuerza de huracán en algún momento en la madrugada del miércoles 20 de septiembre. Desde el amanecer del miércoles, vientos sostenidos comenzaron a girar de procedencia noreste a norte, hasta llegar a dirección noroeste como al mediodía. Alrededor de las 2-3PM del miércoles, el viento se tornó completamente del oeste. Como a las 5-6PM, el viento, aún del oeste, cobró su mayor intensidad y así permaneció como hasta las 9-10PM. Me quedé dormido desde la medianoche hasta las 3AM del jueves 21 de septiembre y a esa hora ya la intensidad había menguado. Se podía salir en confianza al amanecer.

Precediendo el periodo de mayor intensidad del miércoles, escuché una gritería en la calle. Me asomé por la ventana del baño, una de las pocas sin tormenta, y pude ver a un norteamericano que se hospedaba en la casa de otro residente de la urbanización, desafiando al viento y al huracán, con una careta de caballo tapándole la cara y una Medalla en mano, bailando con otro norteamericano en la calle. El espectáculo duró poco, ambos corrieron a esconderse ante vientos de mayor intensidad, al atardecer. Entonces pudimos oler el babote y salitre proveniente del oeste desde la costa

del barrio Playa de Añasco, algo que nunca había sucedido en los dos años que llevaba viviendo en la casa. La lluvia se tornó aún más atomizada y la humedad en el aire y las paredes era evidente al tacto. Así permaneció por al menos un día después del evento. Las palmas de yarey (*Sabal casuarum*) ubicadas detrás de mi patio se doblegaron más aún y cayeron más pencas y ramas de un árbol de úcar (*Bucida buceras*) en mi patio. También se aumentó el volumen del ruido en un estruendo permanente que había acompañado al huracán desde el amanecer, convirtiéndose en algo oscilante entre lo que parecía similar en un extremo al rugir metálico de un tren sobre vías de ferrocarril y cuando menos a estar dentro de la sección de secado de aire de un limpiador de automóviles, desde la tarde hasta las 10PM. Sentimos un bajón en presión atmosférica al comienzo de ese periodo de mayor intensidad, como a las 3-4PM. En ese momento, mi esposa, hijo e hija, de seis y dos años, se retiraron al aposento. Como desde las 7PM comenzó a emanar agua de la caja de interruptores eléctricos dentro de la casa hasta casi la mañana siguiente, cuando cesó la precipitación. El servicio de electricidad había cesado ~24 horas antes. Todo esto continuó en menor medida desde medianoche hasta el amanecer del jueves.

Al otro día, el paisaje era marrón a crema: completamente defoliado. El suelo y las herbáceas que lo cubrían parecían quemados. Todas las angiospermas dicotiledóneas parecían haber perdido todo el follaje; solo algunas especies de palmas lo conservaron en pencas. Los derrumbes eran evidentes y abundantes en las faldas del monte Atalaya. La inundación del río Grande de Añasco cubría todo el valle y llegó a ~300m de mi hogar, al parque recreativo de la urbanización. El valle inundado se veía como un lago desde el techo de mi casa, en donde habían ~6 pulgadas de agua de profundidad de agua clara, cristalina y verde brillante por la clorofila que se escapaba de las hojas trituradas del úcar, en mi techo. De ahí también claramente observé múltiples derrumbes en el paisaje defoliado del monte Atalaya. Parecía que la mitad de

todos los árboles estaban en el piso. El efecto del huracán en el entorno inmediato y paisaje a nuestro alrededor fue tan abrumador y asombroso que todo llamaba atención y curiosidad, y los sentidos estaban muy receptivos a ver y entender los efectos y consecuencias del huracán.

Mi compadre llegó desde Rincón a auxiliar a sus padres que viven en la urbanización como a dos días después del evento. Me contó cómo la noche del huracán se oyeron unas explosiones cerca de su casa, y de cómo él y otros pensaban que fueron los troncos de árboles anacagüita (*Sterculia apetala*) reventando. La anacagüita es una especie introducida a Puerto Rico, nativa a regiones de Centro y Sur América por donde rara vez pasan huracanes. Conversando, conectamos el fenómeno al cambio en presión, que durante María bajó a -908mBar (Pasch et al. 2018), casi 10% por debajo de lo normal, porque de los efectos que percibimos durante el embate, ése fue uno de los que más nos sorprendió, que sentimos ambos y nuestras familias en el físico propio (i.e., los oídos), y que él asoció a los instantes donde escuchó las supuestas explosiones. En su momento, pareció una explicación al menos plausible porque las anacagüitas producen contrafuertes compuestos de tejido aerenquimatoso que contiene aire y gases, característico de especies tolerantes a inundaciones y con adaptaciones a sequías (Parolin et al. 2010). La morfología de troncos de árboles con contrafuertes, tal cómo la anacagüita, que creciendo en espacios abiertos producen contrafuertes aún más grandes, sumado a las deformidades de troncos creciendo en áreas urbanas, también podría resultar en espacios ocupados por aire dentro del tronco. Sumado a las fuerzas mecánicas del viento sobre la corona de los árboles, ese aire sellado pudiese expandirse con el cambio en presión y ocasionar la ruptura (o “explo-



Figura 1. Tocón de una anacagüita (*Sterculia apetala*) madura, con contrafuertes y un tronco de > 50cm de diámetro a altura de pecho (DAP), que estaba creciendo a orillas de la carretera PR402 junto con un rodal de anacagüitas jóvenes y que se quebró durante el huracán. El tronco caído se puede ver sobre el suelo, a mano izquierda.

sión”) del tejido esponjoso del contrafuerte y tronco. Por un tiempo, rebusqué la literatura y pude encontrar poca información relacionada a los efectos eco-fisiológicos de un bajón en presión atmosférica, tal cómo el documentado durante el huracán, sobre la estructura y función del tronco, y la morfología y fisiología del tejido de aerénquima en contrafuertes. Las fotos que tomé semanas después de uno de los ejemplares más convincentes no dan lugar a determinar si en realidad el tronco “explotó” y los tocones dejaron de estar allí hace tiempo (Figura 1). La memoria del evento parece distante y la explicación que conjuramos también, y lo que en el momento pareció una conjetura razonable, ahora parece ilógico. El evento y la explicación que conjuramos en base a nuestras percepciones, sumado a otros eventos documentados aquí y otros que quedarán en el olvido, parecen sacados de un libro de Gabriel García Márquez, donde lo real se mezcla con lo mágico, y donde la percepción y la memoria juegan un papel importante. Aunque no he olvidado todo de esos primeros días, algunas memorias parecen estar ligadas a algunos estados de ánimo que transcurrie-

ron en mí durante el huracán, ya que fueron creadas en esos tiempos, y es difícil retomar y entender completamente los pensamientos creados en torno a ellas durante esos tiempos, también en la memoria, a un año y meses después del huracán.

PERIODO DE EMERGENCIA: EL REALISMO MÁGICO

Trasfondo

Al revisar mis notas para escribir la mayor parte del resto de este manuscrito entradas las Navidades de diciembre 2017, comprendí que mi estado personal en respuesta a los efectos del huracán María sobre los sistemas sociales-ecológicos a mi alrededor, sobre los proyectos de investigación que llevo a cabo en los bosques del norte y oeste de Puerto Rico, y sobre mi persona durante el periodo de emergencia y hasta poco antes de terminar la primera versión del manuscrito en febrero de 2018 se batió entre estados de ánimo que, más o menos, pasaron por la siguiente sucesión: (1) asombro e incredulidad, (2) aceptación y gratitud, (3) frustración y sardonismo, (4) euforia, y (5) resignación e indiferencia. El asombro perduró, pero la incredulidad duró poco y fue poca, quizá las primeras horas porque el efecto del paso del huracán a nuestro alrededor era abrumador. La aceptación y la gratitud parecieron estar entremezcladas y reflejaban la inminencia del nuevo estado de las cosas después de algo que pudo ser peor. La frustración y el sardonismo perduraron por la mayoría del periodo de emergencia, desde fines de la primera semana post-huracán y aumentando con el re-comienzo de clases en el Recinto Universitario de Mayagüez (RUM) en octubre 30 del 2017, cuando las nuevas limitaciones administrativas y logísticas fueron más obvias. La euforia pudo haber estado relacionada al estado abrumador de las cosas mezclado con los efectos secundarios del Tamiflú de anís estrellado concentrado que me recetaron para la influenza que contraí en noviembre, y que me causaba taquicar-

dia. La resignación e indiferencia quizá tuvo que ver con el cansancio acumulado por la gran cantidad de trabajo en los meses de octubre y noviembre, y por la frustración acumulada y orientada hacia las instituciones, estrategias y recursos disponibles para lidiar con el asunto. Los días de Navidad de 2018 sirvieron para llegar a un estado mental más "normal".

Percepciones y Sucesos

Inmediatamente después del huracán, en esa primera semana, el desarrollo del componente biótico del ecosistema a mi alrededor era excepcional. Un cardumen de guppies (peces) apareció en la cuneta al frente de una casa con problemas de pozo séptico aparentemente complicados por el huracán. El agua que bajaba por las cunetas de forma continua durante las primeras 4-5 semanas después del huracán permitió que sobrevivieran por ese tiempo allí. Meses antes del huracán ya había encontrado al menos dos guppies que aparecieron en la cuneta frente a mi casa tras dos eventos de lluvia mayores y distintos (Figura 2). Pero nunca persistieron por más de un día, en contraste con el mini-ecosistema acuático que se desarrolló en la cuneta de enfrente de la casa de ese vecino, donde un segmento contenía sedimento, plantas acuáticas, meandros, y un cardumen de casi 20 guppies que se desplazaban entre el trayecto del canal de la cuneta que transcurría frente a la casa. Mi hijo y yo nos entretuvimos y pudimos recoger como cinco de ellos que sobrevivieron varios meses más en su pecera. Hubo problemas sépticos en muchas casas de esta urbanización donde alquilamos, donde el agua acumulada en el techo durante el huracán entró por los respiraderos sépticos, desbordó los pozos y se salió con todos sus componentes por los excusados de los baños en tempranas horas de la tétrica mañana del jueves 21 de septiembre de 2017.

En esos días, murciélagos aparecieron muertos en mi patio, o vivos para luego morir de hambre. Cinco individuos de una especie de relativamente pequeño tamaño (+/- 8 cm de largo) aparecieron muertos al pie de una palma ornamental (*Sabal*) en mi patio. Parecía una fa-



Figura 2. Segmento de la cuneta por donde discurrió agua de forma continua, formando meandros con vegetación acuática, y que mantuvo a un cardumen de guppies que persistió por semanas luego del huracán. La foto fue tomada después del huracán Irma y antes de María. Al fondo, el Monte Atalaya.

milia y en promedio uno por día apareció muerto sobre la grama esa semana. En el momento, no le di importancia a preservarlos para identificarlos. Uno de ellos pasó una noche en la covacha. Los murciélagos fruteros se hicieron más obvios en su vuelo, tal que llegaban a

parecer tratar de entrar por las ventanas y su silbar nos entretenía en la monotonía agradable de las noches sin luz y en el calor veraniego que pasábamos hasta dormir en los sofás y colchones sobre el piso de la sala. Una gata que vive en mi patio, y que llamamos Misifúsitain, engulló a uno de éstos que aventuró a comer de nuestra pila de composta en el patio. Las palmas ornamentales en el patio y enfrente a mi casa fueron fuente de alimento para los murciélagos fruteros ante la falta de frutos en los árboles que típicamente visitan, los cuales perdieron copas, follaje, ramas, y cualquier fruto previamente existente. El hambre era tal que mucho antes del atardecer ya estaban sobrevolando y removiendo frutos de los racimos. Las

palmas reales (*Roystonea borinquena*) botaron todas o casi todas sus pencas con el huracán, pero florificaron y fuctificaron rápidamente, 2-3 días después (Figura 3). Ése fue uno de los alimentos más importantes para las aves, sobre todo las palomas turcas.



Figura 3. Fotos tomadas durante la primera semana después del huracán en el valle de Añasco, de camino al barrio Playa, mostrando que (A) las palmas reales de Puerto Rico conservaron sus pencas y algunas ya tienen frutos, y (B) los árboles caídos sobre el suelo, en su mayoría acacias (*Albizia*) y almendros (*Terminalia catappa*) creciendo en suelos aluviales y franco-arenosos, están orientados de oeste a este.



Figura 4. Vista desde la carretera PR2 en Aguada, a días del huracán. Los árboles defoliados en primer plano son acacias (*Albizia procera*) y tulipanes africanos (*Spathodea campanulata*) que típicamente cubren el paisaje junto con los árboles que rodean las casas que también están defoliados salvo las palmas reales (*Roystonea borinquena*) y los mangós (*Mangifera indica*) que se pueden ver cerca del medio de la foto.

Todo el surrealismo del paisaje en esos primeros días me llevó a hipotetizar, en conversación con un vecino, que un trozo de rabo de langosta que apareció en el extremo suroeste de la urbanización, a orillas del parque, había sido el resultado de una ráfaga que había sacado una langosta de cuajo del fondo del lecho marino, de una pradera de *Tallassia* seguramente, en la costa del barrio Playa, y que la había hecho cantos en su trayecto desde allá a la urbanización (+/- 2km). Mirando hacia atrás desde otro estado de ánimo, entiendo más probable que el trozo haya salido del zafacón de algún vecino (o restaurante en barrio Playa?). El razonamiento del momento ilustra que el entorno propiciaba una mayor apertura a aceptar explicaciones no convencionales para explicar las observaciones, y que parecían tener total sentido en el contexto de los sucesos.

Los vecinos nos desbordamos en fraternidad y solidaridad justo antes y en las 2-3 semanas que siguieron el evento. Pude conocer por primera vez, después de casi poco más de dos años viviendo en esa casa, a mi vecina inmediata y a un vecino de al frente. Un vecino se llenó de genialidad y generosidad durante ese tiempo; el día

precedente al evento, mientras montaba las tormenteras, se me acercó y me ofreció la cisterna vacía de 500 galones que tenía en su techo. Entre él y yo la bajamos amarrada con una manguera y la pasamos, rodando, a mi patio. La montamos en maderos y bloques, le encajé un grifo con epoxy y la pude llenar después de que mi hijo se metiera dentro de ella para limpiarla, con la ayuda de mi esposa, y antes de los vientos de tormenta a las 2-3PM del martes. Casi los mismos 500 galones de agua permanecieron en esa cisterna hasta junio de 2019, cuando la vacié durante la mudanza al dejar la casa. No tuvimos que usarla mucho porque se nos re-estableció el servicio, al menos intermitentemente, a una semana luego del evento.

Mi vecino inmediato es paciente de cáncer y junto a su esposa no tardaron ni un día después del evento en tirarnos una extensión para conectarnos a su planta eléctrica de diesel por las noches, una Kubota 6500 que llevaba 8 años en una casita de cemento en su patio sin usarse mucho. Con eso pudimos tener un abanico, luz y mantener la nevera hasta que retornó el servicio eléctrico. Al tercer día después del evento, mi vecino y yo salimos en mi primera salida fuera de la urbanización a una gasolinera Ecomaxx ubicada en el tramo de la carretera PR2 que cruza sobre el extremo oeste de la Cordillera Central, el cual se conoce como la Cadena. También fue mi primera salida en carro, y mi primera salida fuera de un radio de 300m de mi casa. En la Cadena en sí encontramos nuestro primer derrumbe, poco después de una barrita antigua muy famosa que quedó sin techo y con todos sus productos de bebidas alcohólicas expuestas al sol y sereno. Expuestas también estaban todas las casitas en el monte, defoliado y transparente, frente a la Ecomaxx, que estaba cerrada cuando llegamos (Figura 4). La vista contenía alguna muestra de la multitud de casas puertorriqueñas que descubrió el huracán cuando se llevó las hojas y gran

parte de las copas de los árboles y que fue reseñada por muchas personas y medios de comunicación.

La única información del estado de las cosas durante las primeras semanas nos llegaban por la emisora local AM, WKJB. Los días se pasaban entre escuchar noticias de lo ocurrido y qué se estaba haciendo. Uno de los eventos más comentados durante las primeras semanas fue la posible rotura de la represa del lago Guajataca y la posible evacuación de residentes en el camino del posible golpe de agua. Eso no llegó a pasar y el tema que perduró y superó a los otros fue la gasolina. El progreso de las instituciones encomendadas por los sistemas de gobernanza para actuar ante el desastre, a juzgar por lo que oíamos, era frustrante, indignante e increíble (Lugo, 2019, ofrece más detalles). Una vecina estaba empeñada, a tres días del evento, en reportarse a su puesto de trabajo en una universidad en Ponce. Su expectativa de tener servicio de electricidad y telefonía a una semana contrastó mucho con la mía de tres meses. Transcurrió como un mes en realidad.

Una mañana durante la primera semana, un residente despotricó hacia mí al llegar un poco tarde (6AM) a la cita para nuestra primera y última salida de gasolina en conjunto, que fue de una duración de cinco horas. Hice otra salida y espera de misma duración para buscar deisel con mi vecino, lo cual fue sumamente incómodo para él debido a su padecimiento de cáncer y el calor del verano Mayagüezano en mi vehículo donde hicimos la espera, con el aire acondicionado apagado para ahorrar gasolina. En la fila de espera, la empresa daba prioridad a contratistas selectos que, ante nuestros ojos incrédulos, hicieron múltiples recogidos con tanques de ~200 galones en lo que hicimos nuestra espera para llenar 20 galones. Como al cuarto día, estaba sentado con mi vecino en su terraza cuando un amigo suyo llegó ofreciéndole un poco de gasolina. El día antes había buscado y conseguido y estaba jubiloso: ¡desde entonces tenía aire acondicionado!

La crisis de gasolina dominó entre la gente y el medio radial en esas primeras semanas. Cuando eso mejoró, le siguió la de la luz eléctrica. Según los rumores que

nos llegaron esos días a través de la asociación de residentes de la urbanización, la cual cuenta con control de acceso, uno de los residentes conocía un gerencial de Autoridad de Energía Eléctrica (AEE). A través del contacto, se energizó la urbanización a un mes luego del huracán, a un costo de \$100 por hogar para cubrir los gastos de mano de obra a contratistas externos y materiales que supuestamente no estaban disponibles y ni podían ser provistos por AEE, para poder conectarnos a la línea que discurría a partir de una urbanización cercana, hacia la carretera PR2, la cual ya estaba energizada. No estaba presente en la asamblea de residentes donde se dilucidó el asunto, pero me contaron que un residente se opuso. Al momento de la colecta los pagué y mi entender es que todos los residentes, excepto éste, pagaron también. La información que posteriormente circuló en los medios de comunicación acerca de lo que transcurrió en AEE esos días posiblemente causó la misma indignación y vergüenza en todos los residentes, salvo uno. Mis felicitaciones a él.

El plantel de la escuela de Kindergarten de mi hijo, la Escuela Bilingüe Antonio González Suárez, localizada en el barrio Pozo Hondo de Añasco, dejó de ser funcional después de María y tuvo que ser relocalizado. La inundación del río Grande de Añasco entró en el plantel de los salones que estaban localizados en una edificación que data de mediados del siglo pasado, por tal razón posiblemente construida a cinco pies sobre el suelo raso. Las inundaciones también cubrieron varias urbanizaciones y barrios en el valle de Añasco, incluyendo la urbanización Jardines y el barrio Playa en la costa, donde las pilas de enseres y pertenencias dañadas se apilaron frente a cada casa y así permanecieron por varias semanas (Figura 5). El tramo de la PR2 entre Añasco y Mayagüez que quedó intransitable por la inundación durante los dos días después del huracán se volvió a inundar durante la siguiente semana. Las inundaciones perduraron y recurrieron luego del huracán a causa de lluvias frecuentes en las semanas posteriores. Dos semanas después del evento mayor, la carretera PR2 desde el Mayagüez Resort, frente a Mayagüez Terrace, se inundó



Figura 5. Pilas de enseres y pertenencias frente a hogares del barrio playa de Añasco.

hasta detrás del Ensanche Ramírez, justo en frente del centro comercial de Pitusa. Las inundaciones remanentes revelaron lo mucho que se incapacitó el terreno para recibir y drenar tal volumen de agua en tan poco tiempo. Esto se unió a los derrumbes en las montañas que fue-

ron frecuentes en las semanas que sucedieron al huracán, tal como en el Monte Atalaya y la Cadena, y la erosión de las costas, como en los barrios Barrero de Rincón, el Maní de Mayagüez, Playa de Añasco y Pueblo de Aguadilla (Figura 6). Muchos casos dejaron expuestas las fallas en manejo de terrenos y costas, la falta de cumplimiento de regulaciones vigentes, y la falta de infraestructura y planificación adecuada. El huracán reclamó los lugares que, por regulación y sentido común, no debieron convertirse a cobertura urbana. También reclamó lugares que habían sido ocupados históricamente por residentes del área, mucho antes del

desarrollo de regulaciones y que saben cómo responder ante estos eventos, a su manera (Figura 7).

Justo después del huracán, las abejas de miel comenzaron a aparecer en todos lados e invadir lugares a donde antes no llegaban, como la cocina y la covacha. En



Figura 6. Algunos paisajes emblemáticos de la costa oeste después del huracán: (A) carretera sobre las antiguas vías del tren en el barrio Barrero de Rincón, y (B) casas y autos bajo agua en el barrio el Maní, Mayagüez.

mi patio, se concentraron en las flores que emergieron de capullos remanentes de antes del huracán en tres palmas de *Adonidea* que acostumbraban visitar. Parecían ser más abundantes de lo usual después del evento, tanto así que al acercarse a 2m, ya tenía uno varias encima, investigando y celando su espacio. Esto duró como hasta febrero de 2018. Como con las palomas turcas en las palmas reales, los changos comenzaron a invadir las palmas ornamentales de mi patio y el vecindario en busca de comida. Los turpiales que frecuentaban nuestro patio todas las mañanas no volvieron a hacerlo como hasta 2-3 semanas después del huracán. La frecuencia de iguanas verdes en mi patio aumentó un poco el primer mes luego

del huracán pero los coquíes, lagartijos, ranas y sapos parecían hacer más o menos lo mismo antes y después del huracán. Las iguanas verdes parecieron haber aprovechado los despojos del huracán aunque parece también les faltó falta de alimento, cómo a los murciélagos, durante los primeros días a juzgar por su actividad y las muchas que aparecían muertas en la carretera; más de lo usual fuera de su tiempo de apareamiento. Pude observar pájaros bobos, comeñames y guaraguaos en los bosques que visité durante los dos primeros meses después del huracán. Éstos incluyeron bosques secundarios o noveles, según la terminología científica que se utilice (Lugo, 2009), dominados por especies introducidas tales como las acacias (*Albizia procera* y *Senna siamea*), caucho mexicano (*Castilla elastica*), flamboyán (*Delonix regia*), flamboyán amarillo (*Peltophorum inerme*) y tulipán africano (*Spathodea campanulata*) creciendo en fincas abandonadas en Añasco, Arecibo, Corozal, Gurabo, Manatí, Mayagüez, Vega Alta y Vega Baja, y por almendro (*Terminalia catappa*) en terrenos ubicados en las costas de Aguadilla e Isabela.

La rutina de un viaje de campo se volvió aventura surreal en el periodo post-huracán. Realicé mi primera



Figura 7. Vista desde la carretera PR2 hacia el barrio Pueblo de Aguadilla. El humor ante la adversidad alimentó la tenacidad de las comunidades.

salida oficial al campo el 3 de octubre, por mi propia cuenta, a lugares de estudio en la finca experimental Alzamora en el RUM. Llegar a un lugar que normalmente tomaba cinco minutos se tornó en una aventura de una hora debido a la gran cantidad de troncos y copas de árboles caídos en el medio de los caminos usados rutinariamente. Me desorienté varias veces debido a la ausencia o nueva posición de marcadores usados previamente para orientarme como troncos de árboles sobresalientes o curvas en el camino. Unos días más tarde visité el Bosque Comunitario de Río Hondo, en mi vehículo y solo, de camino a visitar a mis familiares en Mayagüez, y ni traté de adentrarme, recordándome del día anterior en Alzamora. Aquél día en Alzamora, pude llegar a siembras experimentales de árboles frutales dentro de los bosques y pude ver que aunque el daño al dosel, copas y troncos de árboles grandes era significativo, ninguno de los árboles frutales sembrados pareció haber sido afectado por el huracán (Figura 8). Eso se repitió en los demás lugares donde se conduce ese experimento (Túa 2019). Después de poder constatar esto en un lugar en la Finca Alzamora ese día, comencé a sentir los efectos del sol tras solo una hora



Figura 8. Árbol juvenil de jácana (*Pouteria multiflora*), sembrado dos semanas antes del huracán bajo el dosel de un bosque novel dominado por acacias (*Albizia procera*) en finca Alzamora, intacto después de María.

de campo, dentro de un bosque sin dosel. No sentí tal cosa después de trabajar seis horas en ese mismo sitio un mes antes cuando conducimos la siembra bajo la sombra. El efecto del huracán sobre el micro-clima del bosque era evidente sobre el funcionamiento propio.



Figura 9. Trayecto de un bosque de almendro (*Terminalia catappa*) creciendo en suelos franco-arenosos próximo a la playa Ponderosa de la base Ramey en Aguadilla, cuyos árboles fueron nivelados y orientados de oeste a este.

El 4 de octubre realicé una salida a los bosques de almendro localizados en predios de la antigua base militar Ramey en el barrio Punta Borinquen en la costa de Aguadilla. Llegando al lugar, que se encuentra opuesto a la pista de aterrizaje del aeropuerto Rafael Hernández, al pie de la plataforma de karso donde ubica la pista y próximo a la playa Ponderosa, lo primero que observé fue la ausencia de follaje en el dosel, salvo hojas nuevas recién desplegadas en almendros que permanecieron en pie (Figuras 9 y 10). Al entrar al bosque, pude ver troncos de almendro de hasta 1m de diámetro a altura de pecho (DAP) sobre el suelo. Algunos de los más grandes parecían ballenas varadas. Entrando y caminando por el lugar, fue evidente que

el efecto espacial del huracán no fue homogéneo a escala de rodal. En ese lugar, todos los árboles de almendro un área de alrededor de 100 x 30m, más o menos rectangular, estaban en el suelo orientados en dirección noroeste a sureste (Figura 9). Lo que posiblemente fue el efecto de una de las ráfagas del huracán durante su salida de la isla y re-intensificación en el Atlántico (Jury 2018), parecía como si un avión o nave espacial se hubiese estrellado en esa sección del bosque. Alrededor de esa sección también había árboles caídos, pero también en pie; no así en esa sección donde todos los árboles estaban en el suelo, sin excepción.

Durante ese día estuve tomando varias fotos y sentí que mi presencia perturbó a agentes de Homeland Security que patrullan la vecindad del lugar por su proximidad a la base y al aeropuerto (Figura 10). Sobre mí sobrevoló 2-3 veces un monoplano que parecía ser de aduanas y que parecía tener un interés apremiante sobre mi presencia, a juzgar su patrón de vuelo.

Como no había dosel, lo podía ver claramente (y él a mí, supongo) desde muchas direcciones. El vuelo del avioncito fue intermitente al de varios otros incluyendo un C-22 del Coast Guard y otros dos aviones de carga sin identificación sumados a 2-3 vehículos que parecieron perseguirme después de salir del sitio por la servidumbre de paso y de dar una mano a una familia aventurera compuesta de un padre y dos jóvenes que iban en un Jeep removiendo escombros en el trayecto entre el barrio Playuela y Punta Borinquen. Todo a mi alrededor durante esos días levantaba curiosidad y suspicacia.

El resto de las salidas de campo las realicé en compañía de estudiantes graduados y voluntarios durante el mes de octubre y se dieron mayormente hacia lugares de estudio en los valles aluviales y karso del norte de Puerto Rico. De camino por la carretera PR2, y sobre todo por el expreso PR22, el efecto fisionómico sobre los bosques del karso parecía ser el resultado de un fuego catastrófico de extensión total o de una bomba atómica, tomando prestado el descriptor que usó mi compadre para el paisaje del barrio Puntas en Rincón después del huracán. No había follaje por ninguna parte y el suelo y material parental, más la biomasa y troncos secos, daba un aspecto marrón al paisaje hasta donde llegaba la vista (Figura 11). Durante los trayectos iniciales busqué, pero no recuerdo encontrar, las palmas de lluvia (*Gaussia attenuata*), que típicamente se ven desde vehículos transitando por el expreso. Durante los viajes de campo al norte, se destacan los siguientes eventos y ocurrencias. En el barrio Roseta de Vega Baja, cerca de río Indio, vive el Sr. Nequi y dos generaciones de su familia, próximo a un lugar de estudio que frecuento desde el 2005. La magnitud de las inundaciones en los valles del norte, que para mí llegaban como rumores del desastre por radio ante la desinformación que perduraba esos días, me hizo pensar que la casa de Nequi ya no



Figura 10. Algunas aves y un avión C-22 del Coast Guard sobrevolando un bosque costero dominado por almendro (*Terminalia catappa*) carente de la cobertura de un dosel, pero con hojas nuevas ya asomando a dos semanas del huracán. A la izquierda del tronco del centro y en primer plano se puede ver un árbol pequeño de maría (*Callophyllum calaba*) de cerca de cinco metros de alto y creciendo en el sotobosque, también con hojas nuevas asomando.

iba a estar. Al llegar, estaba la casa y la familia, y me contaron que el agua de la inundación del río Indio llegó cubrir todo excepto los últimos dos pies de los pilotes de cerca de 30 pies que sostienen la casa sobre el lecho del valle. Como quiera, pasaron la noche allí durante el evento y nunca se fueron. Nequi durmió toda la noche del huracán, en la misma casa, tal cómo lo hizo durante Hugo y Georges, y dijo que no titubeó en hacerlo. Mi impresión es que los perros que un exalcalde de Barceloneta mandó a tirar al lado de su casa y el gasoducto que un exgobernador y sus colegas intentaron pasar por encima de él y su casa, porque el no iba a dejar ser expropiado, le quitaron más sueño que María. El agua y hielo que llevamos fueron bien recibidos y decidimos hacerlo costumbre en nuestras salidas. Un estudiante que puso a disposición su tiempo voluntario para ayudarme en las salidas durante esos días aprovechó para hacer lo mismo con parientes suyos cuando nos acercamos a la subestación de Gurabo de la Estación Experimental Agrícola. El hielo, que hacía en botellas de plástico en mi nevera, era lo máspreciado entre lo que pudimos llevar a los vecinos durante las salidas del periodo de emergencia.



Figura 11. Paisaje del karso norteño visto desde la PR22 en el puente sobre el río Indio en Vega Baja. El bosque en el valle está creciendo en un cañaveral abandonado y está dominado por tulipán africano. Los bosques creciendo sobre los mogotes al fondo, en la vecindad del barrio Franquez de Vega Alta, están compuestos mayormente de especies nativas.

Una salida de campo a la reserva El Tallonal en Arecibo demostró que las expectativas antes de María no significarían mucho después. Allí se disipó parte de mi impresión de que los bosques en sumideros de karso iban a estar más protegidos que bosques en otras formas de terreno como llanos aluviales y costeros más expuestos al viento. El Sr. Abel Vale, residente de El Tallonal y quien pasó el huracán en el lugar, relató que la topografía del karso, con sus mogotes y sumideros, ocasionó turbulencia y que tanto ráfagas como vientos sostenidos soplaban de todas las direcciones en cualquier momento durante el periodo de mayor intensidad del huracán. Es posible que la multi-direccionalidad del viento se haya debido al paso del ojo del huracán sobre el lugar durante uno de los ciclos de reemplazo de pared (Pasch et al. 2018). Sorprendentemente, dentro de su finca y a más de 30 minutos a pie de cualquier vecino, el Sr. Vale no perdió agua, electricidad ni internet. Tenía implementado, previo al huracán, fuente y suministro de agua del lugar, comunicación por satélite y energía fotovoltaica en su vivienda, que está ubicada dentro de la finca. En lugares del karso

más lejanos a la trayectoria, los sumideros parecieron brindar cierta protección de las fuerzas del huracán (Figuras 12 y 13). De visita a uno de esos sumideros con un laboratorio del curso de silvicultura del RUM, presenciamos el día alegre en que a un vecino del barrio Pugnado en Manatí se le re-estableció el servicio eléctrico, en enero de 2018.

Un mes después del huracán, todavía era evidente el embate sobre las copas de árboles y doseles de bosques que pude visitar y caminar, o ver desde el vehículo durante las salidas de campo. Dos meses después del huracán, la visibilidad de los efectos se redujo drásticamente debido a la refoliación de ramas remanentes en las copas y doseles, ocultando la gran cantidad de biomasa y troncos sobre el suelo

y devolviendo a los bosques un aspecto más “normal”, aunque todavía diferente al estado justo antes del huracán cuando el último evento de tal magnitud en azotar la isla entera fue el huracán San Felipe de 1928. El sotobosque de los lugares que pude visitar los primeros días era predominantemente marrón, con tallos de brinzales y árboles juveniles parcialmente defoliados, doblados o rotos siendo los más comunes, y con una virtual ausencia de herbáceas y otras plantas de baja estatura (Figura 12). En lugares inundables, era aparente que el agua había llegado hasta 2 m sobre el suelo a juzgar por las hojas manchadas con suelo en los árboles de sotobosque (Figura 14). Algunos de éstos eran árboles de palo de pollo (*Pterocarpus officinallis*) que sembramos en un experimento de restauración de especies nativas en bosques de tulipán africano en Vega Baja (Cruz y Abelleira 2019), y que anduve buscando por días junto con estudiantes voluntarios que me acompañaron. Pudimos encontrar la mayoría, hechos piltrafa, pero vivos todavía y retollando. Dos años tras el paso del huracán, se ven mucho mejor, sobre todo los que quedaron bajo sitios donde el dosel se abrió bastante por la pérdida de



Figura 12. Sotobosque de bosques dominados por tulipán africano creciendo en (A) un valle aluvial a las orillas del río Indio en Vega Baja y (B) en un sumidero del karso en el barrio Pugnado de Manatí. El mogote visible desde el sotobosque del bosque a orillas del río Indio es el mismo que se puede ver en el extremo izquierdo de la foto en la Figura 11. Era más fácil caminar balanceándose sobre los troncos caídos en ambos sitios, siendo un requisito en el bosque ubicado en el valle (A) debido a la gran cantidad de ramas y troncos cubriendo el suelo.

ramas y caída de árboles, y la nueva entrada de luz les ha servido para crecer vigorosamente.

A los dos meses, el sotobosque de los lugares que visité se transformó a una manta verde compuesta tanto de árboles juveniles como de bejucos, gramíneas y herbáceas. Estas últimas parecían estar tomando ventaja sobre las otras formas de vida en los sotobosques como también lo hicieron en el patio de mi casa donde las flores de bejucos (*Cissus verticillata* y *Mikania congesta*) que se hicieron extremadamente abundantes una semana después del huracán fueron fuente de néctar para abejas

melíferas y varias especies de moscas de distintos colores. A los dos meses fue evidente que muchos de los árboles de todos los tamaños que parecían haber muerto, a juzgar por visitas previas, no habían muerto en realidad. De hecho, a juzgar por los lugares que pude visitar durante los seis meses luego del huracán, parece que pocos o casi ningún árbol con tronco en pie luego del huracán murió, independientemente de especie, historia de vida o grupo funcional, a juzgar por la presencia de retoños y follaje. Si ese ha sido o será el caso después de esos seis meses está por evaluarse, con datos. De los árboles que se viraron o

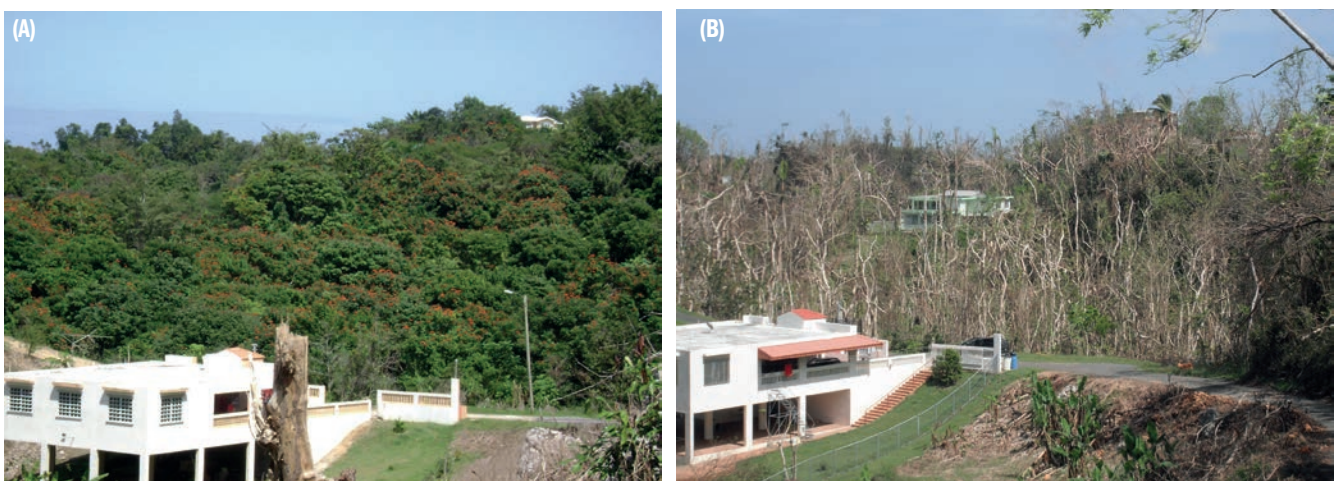


Figura 13. Bosque de tulipán africano creciendo en un sumidero en el barrio Pugnado de Manatí (A) unos años antes del huracán y (B) un poco más de un mes después.



Figura 14. Sotobosque de un bosque dominado por tulipán africano creciendo en aluvión a las orillas del río Cibuco en Vega Baja mostrando (A) la ausencia de dosel y (B) la marca de lodo de la inundación se nota en el follaje de árboles juveniles de palo de pollo (*Pterocarpus officinalis*) a 2 m sobre el suelo.

cayeron y pudieron mantener un sistema radicular funcional, la mayoría retolló del tronco principal, ya sea de base o más arriba en troncos caídos sobre el suelo. Esto fue más evidente en troncos grandes (>50cm DAP) de almendro y tulipán africano, aunque quizá por la preponderancia de estas especies en los lugares de estudio. En general, estas observaciones señalan a que, salvo en casos excepcionales, los efectos del huracán sobre las distintas especies de árboles fueron homogéneos y dependieron más de la posición del árbol respecto a alguna de las muchas fuerzas que ejerce la energía del huracán (Lugo 2008). Casos excepcionales son las palmas, que resistieron más que las dicotiledóneas arbóreas y que pueden considerarse una forma de vida aparte. Aunque es muy temprano para hacer conjeturas fundamentadas en datos acerca de cómo la trayectoria ecológica de nuestros bosques fue modificada por el huracán, las observaciones son más consistentes con teorías que resaltan la importancia de factores estocásticos, o sea el azar, sobre la identidad, riqueza y abundancia relativa de especies en una comunidad luego de un disturbio (Aubréville 1938, Hubbell 2000). En este caso, la composición de especies de árboles en creciendo en el sotobosque y apro-

vechando la apertura de luz y otros recursos después del huracán pareció sencillamente depender de las especies que se habían dispersado y establecido previamente en el lugar, y las que fueron traídas por el huracán de áreas limítrofes y lejanas, por agua o viento (Figura 15).

El fenómeno de emergencia de múltiples retollos en o cerca de la base de troncos en respuesta a vientos de huracán en el Bosque seco de Guánica como producto de Georges en 1998 (Van Bloem et al. 2005 y 2007) se replicó en muchos árboles en la región húmeda, incluyendo el úcar en mi patio, el cual sobrevivió casi entero a pesar de estar casi completamente expuesto en su lado oeste, desde donde los vientos fueron más fuertes. Virtualmente todas las hojas de ese úcar son las que terminaron en mi techo y taparon los desagües, pero ya a los dos meses estaba completamente foliado, a pesar de haber perdido 5-7 ramas de >5cm de diámetro. El úcar y otras especies como el almendro, la caoba (*Swietenia macrophylla*), el flamboyán, el (*Delonix regia*), el mango (*Mangifera indica*), la maría (*Callophyllum calaba*) y la moca (*Andira inermis*) ya estaban refoliándose a una semana después del huracán. A las dos semanas, las acacias (*A. procera* y *S. siamea*), bambúes (*Bambusa*

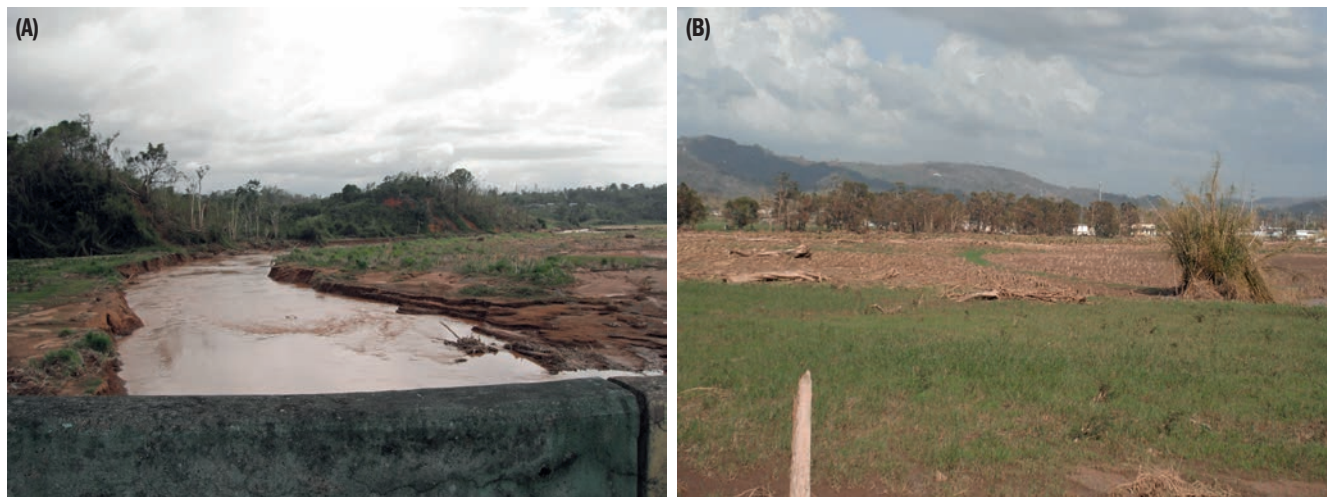


Figura 15. Siembras de plátano decimadas por la inundación del río Grande de Añasco vistas desde (A) el puente del barrio Espino y (B) la carretera PR2, cerca de la antigua central Igualdad y del meandro del río que se puede observar próximo al bambú al extremo derecho de la foto. Los árboles con follaje, en el fondo (B), son los mangós (*Mangifera indica*) que crecen a orillas de la carretera PR 115. Los troncos de tulipanes africanos descansando sobre el suelo (B) fueron depositados por las corrientes de inundación. Hijos de guineos y plátanos fueron removidos y dispersados por las corrientes de las inundaciones y luego se encontraron creciendo en lugares excepcionales, tal como las isletas de la carretera PR2.

vulgaris), espinos rubiales (*Zanthoxylum martinicense*), quenepos (*Melicoccus bijugatus*), robles nativos (*Tabebuia heterophylla*), tulipanes africanos y yagrumos (*Cecropia peltata*) ya tenían follaje, la gran mayoría de los árboles en pie (>95%) ya estaba mostrando signos de refoliación y la mayor parte de éstos presentaba más de la mitad del follaje de la copa. Algunos árboles de especies como la guara (*Cupania americana*), la maría y el mangó incluso parecen haber conservado parte del follaje de antes del huracán. A tres semanas del huracán, el aspecto de la vegetación del oeste, vista de lejos, se parecía a su condición previa al huracán debido a la refoliación y el verdor. Debajo del úcar de mi patio solían caer semillas de árboles de almendro, maría, moca y quenepa en tiempos previos al huracán, evidentes tras la germinación y crecimiento de juveniles de estas especies que son típicamente dispersadas por murciélagos fruteros (Rodríguez 2005). A dos años y medio del paso del huracán, todavía no se ven nuevas semillas ni árboles juveniles nuevos de estas especies en mi patio. Para mí, la ausencia de murciélagos, que parecen haber sufrido una mortalidad mayor comparado a otros grupos de animales a causa del evento, y la falta de dispersión de éstas especies de árboles fue el cambio más evidente

en el ecosistema de mi patio y de los bosques que pude visitar con cierta frecuencia.

Una explicación temprana para la respuesta agresiva, rápida y vigorosa de la vegetación a los efectos del huracán llegó a mí por vía de lo que podría denominarse conocimiento ecológico tradicional. Mi suegro, residente del barrio Lomas-Jaguas de Naranjito por casi siete décadas, fue expedito en contrastarme los efectos de los huracanes Hugo, Georges y María sobre los bosques y la vegetación a su alrededor. Él atribuye la respuesta de vigoroso crecimiento de la vegetación en los meses que sucedieron al huracán María a que la luna se encontraba en su cuarto menguante y no así durante Hugo y Georges cuando la luna se encontraba en otras fases y cuando, a su entender, el crecimiento de la vegetación después de los eventos tardó mucho más. Él mismo, mucho antes del huracán María, me compartió su impresión propia de que el tulipán africano tuvo que ver mucho con la reforestación del paisaje de su barrio después de Hugo. También es posible que la respuesta de crecimiento vigoroso de la vegetación en los meses que sucedieron a María se debió sencillamente a la gran cantidad de agua que llovió antes, durante y después del huracán. Eso permitió que el suelo pudiera almacenar una gran cantidad de

agua que estuvo disponible para el crecimiento de la vegetación que no estuvo limitada por la sombra del follaje en los doseles y que necesitó mucha agua para producir la biomasa y el follaje nuevo que volvió a tapar todo lo que dejó al descubierto el huracán, ya para cuando había terminado el periodo de emergencia.

Una Síntesis Tentativa

Después de todo lo que pude observar, documentar y digerir durante los primeros seis meses después del huracán, pude llegar a algo parecido a una síntesis antes de hartarme del asunto del huracán. Hubo un escrito que había leído mucho antes (Shimizu 2005), durante mis años de estudiante de maestría, y que me venía continuamente a la mente durante esos primeros seis meses. El escrito describía un modelo simplificado de dos pasos, basado en datos empíricos, para describir y predecir la respuesta de bosques japoneses después de un huracán en el océano Pacífico, o tifón: (1) caen los árboles dominantes, y (2) crecen los que quedan en el sotobosque. Los bosques en los cuales se basa el modelo estaban dominados por una especie de pino introducido al Japón que habían invadido campos agrícolas abandonados durante la segunda guerra mundial y cuyos árboles de pino dominantes en el dosel ya estaban muriendo previo al tifón. Esos bosques también podrían considerarse noveles y de eso caí en cuenta mucho después, cuando revisaba el artículo de Shimizu mientras realizaba las ediciones finales a este manuscrito. Antes del huracán, realicé unas visitas a bosques de tulipán africano en el norte de Puerto Rico junto a unos colegas, y pudimos observar que en algunos lugares los tulipanes dominantes estaban muriendo, creando brechas en el dosel. En aquel momento considerábamos que la sequía del 2015 tenía algo que ver con la mortandad y nos disponíamos a investigar el asunto pero el huracán hizo tal reguete que no solo sería difícilísimo establecer si en efecto la sequía tuvo algo que ver sino que el efecto abrumador del huracán posiblemente lo haría insignificante. En fin, el modelo simplista de Shimizu es consistente con las ob-

servaciones que pude hacer en los bosques que visité durante el periodo de emergencia y posteriormente. El resto parece un enjambre de circunstancias debido a contextos abióticos y bióticos a escala local que se cancelan a escalas mayores para hacer parecer que ninguna especie resultará más dominante que otra a causa del huracán. Aunque el modelo de Hubbell (2000) es más elaborado que el de Shimizu (2005), ambos parecen compatibles con las observaciones. Nada de esto está basado en datos, todavía, y son sencillamente conjeturas, explicaciones e ideas tempranas y simples, basadas en las observaciones que incluyo aquí y algunas otras que no llegaron a este manuscrito. Pueden proveer un modelo nulo para estudiantes e investigadores interesados en describir y entender la trayectoria de sucesión ecológica de los bosques de Puerto Rico después de María.

En los primeros días después del huracán desarrollé la siguiente hipótesis espontánea y sarcástica acerca de su origen. Alguien, posiblemente algún mandatario de un país hostil a los intereses de los Estados Unidos de Norte América (USA), tal como Vladimir Putin en Rusia o Kim Jong-Un en Korea del Norte, tuvo acceso a un satélite con un láser capaz de calentar el océano de forma tal que el huracán María fue formado y guiado artificialmente para cruzarnos por el medio. Por alguna razón, me imaginaba a Putin con instrumento asemejado a un control de palito de Atari, dirigiéndolo remotamente hacia nosotros, como un villano en una película de James Bond. La trayectoria en sí parecía evidencia circunstancial: fue mi impresión que desde su origen a su final, el huracán no dio muestras de desarrollar una trayectoria alterna a una que no nos cruzara por el medio. Quizás la fila de nueve aviones y helicópteros militares que nos cruzó sobrevolando de este a oeste de camino a Ramey durante la tercera o cuarta noche después del huracán, o los múltiples satélites que vimos cruzando el cielo y mirándonos en las noches sin luz que pasábamos en el patio de la casa de mis padres en Mayagüez alimentaron tales conjeturas. No fui el único ni el más audaz en hacer conjeturas descabelladas. Al encontrar a un conocido diez días después del evento, me hizo el siguiente relato, diz-



Figura 16. Pilas de (A) biomasa y madera acumulándose al lado de (B) pilas de enseres y pertenencias en el centro de acopio de la carretera PR402 de Añasco.

que enterado por contactos dentro de una empresa multinacional con instalaciones en Puerto Rico, ofreciendo una hipótesis alterna fundada en sucesos y conjeturas más serias que las mías. Según él, hubo un “breach” en la plataforma cibernética que controla el sistema de electricidad de Puerto Rico, ocasionado con premeditación, por alguna entidad externa inmediatamente después del huracán. Aparentemente, la entidad externa ya había ocasionado la caída del sistema de electricidad local en varias ocasiones, y pudo hacerlo porque había ganado acceso al control del “grid” de la AEE. Supuestamente, también lograron acceso a datos confidenciales de millones de ciudadanos de USA que eran almacenados en el servidor de esa empresa en Humacao, porque las leyes federales no lo impiden en territorios no-incorporados, aunque sí en estados, y ése fue parte del motivo del montaje. Ahora se me hace difícil creerlo, pero no tanto entonces. Después de leer un manuscrito similar a este por un colega, me resurgieron dudas.

CONCLUSIÓN

La desinformación, el asombro, la ansiedad y muchas otras emociones se juntaron durante el periodo que sucedió a María. Cosas que parecían reales entonces ahora no lo parecen, y vice-versa. Parece que la atmósfera de

esos días nos llevó a aceptar lo equivalente a una realidad alterna originada en un lapso de 36 horas de huracán. Eso dio mucho espacio para reconsiderar seriamente la validez de muchas cosas, para reconstruir lo que fue la realidad y para incluir cosas no contempladas previo al huracán como explicaciones a los eventos y fenómenos observados, con límites más laxos para inclusión dentro de lo que se puede percibir en una realidad “racional”. Muchos hemos puesto en el olvido algunas ocurrencias de esos primeros días, voluntaria o involuntariamente. Pero muchas cosas que salieron a relucir en esos días, que parecen fantasía ahora, no lo fueron. Volver a la normalidad ha significado un poco olvidarse de todas las cosas que nos provocaron asombro o rabia, para tratar de seguir adelante. Puede ser que nos merezcamos la calma, pero no podemos dejar que nuestra nueva normalidad deje en el olvido los eventos y estados de ánimo que pasamos en respuesta a unas percepciones que fueron muy reales en su momento y que llamaron la atención a serios asuntos que tenemos que atender como sociedad.

Cómo un último ejemplo ilustrativo, la pilas de biomasa y madera inútil que dejó el huracán María y que fueron transportadas a múltiples centros de acopio en cada municipio de la isla dejó al descubierto serias brechas y desfases entre la base de recursos naturales con que cuenta la isla y su desarrollo socio-económico



Figura 17. Tronco de caoba hondureña (*Swietenia macrophylla*), de alrededor de un metro de diámetro a la altura de pecho (DAP), caído por el huracán y esperando a ser de alguna utilidad en el estacionamiento del Recinto Universitario de Mayagüez.

(Figura 16). Mucha de esta madera era de especies superabundantes, tal como la acacia (*Albizia*) y el tulipán africano, pero en algunos casos se perdieron maderas valiosísimas (Figura 17). Hasta la prensa nacional reseñó un artículo de la revista Nature (Song et al. 2018) sobre tratamientos novedosos para aumentar la dureza y utilidad de maderas de baja calidad, insinuando la necesidad de buscarle un uso a esas maderas superabundantes. Puerto Rico sostuvo una productiva industria maderera en los 1950's comparada con una virtualmente inexistente previo al huracán (Wadsworth 2012). La eventualidad dejó al descubierto la gran noticia de que para poder hacer algo productivo con la gran cantidad de madera y biomasa que se hace disponible “de repente” tras el paso de un huracán, necesita haber infraestructura adecuada para hacerlo, lo cual a su vez depende de una cadena de producción que esté apoyada por oferta y demanda constante de madera en el mercado local y, quizá con algunas enmiendas a la Ley Jones, capaz de desarrollar oferta para satisfacer alguna demanda del exterior, lo cual contribuiría al ingreso nacional (i.e., producto interno bruto). También nos insertaría más en la economía regional, creando lazos comerciales

con otros países. En contraste, los sistemas naturales parecieron responder de forma rápida y eficiente luego del huracán. La rapidez con que las plantas usaron el abundante agua disponible para cubrir todo el espacio posible con follaje para capturar energía de luz solar, la capacidad de especies de flora a acoplarse a los agentes polinizadores o dispersores de semilla disponibles, ya sea nativos o introducidos, y la capacidad de especies de fauna para utilizar frutos, néctar y otros recursos de alimento disponibles provenientes de especies tanto nativas como introducidas, ilustran esto. Los sistemas naturales han desarrollado en una escala evolutiva muy larga la capacidad de responder a cambios drásticos a su entorno, causado por even-

tos extremos tales como huracanes, y también han sido capaces de desarrollar nuevas interacciones con especies introducidas en una escala temporal relativamente corta; cinco siglos, a lo sumo, para Puerto Rico (Lugo et al. 2012). Estas nuevas interacciones se han integrado al ecosistema novel puertorriqueño de forma tal que ya son parte de su constitución genética y funcional, que es algo comparable a su memoria colectiva.

El huracán dejó al descubierto muchas fallas en los sistemas de gobernanza nacionales y que en el Puerto Rico de hoy, la mayoría de la respuesta efectiva e inmediata ante estas eventualidades extremas recae en las comunidades, las cuales no siempre cuentan con los mismos recursos. Para mejorar eso, necesitamos encargarnos de que nuestras instituciones, en la nueva realidad que aspiremos, representen el bienestar social común, para que así estén preparadas para responder adecuadamente al próximo evento. Aunque usualmente es lo más que se resalta debido a su indiscutible importancia, esto no está limitado mejorar la capacidad de atender y salvaguardar el bienestar humano durante y después de la emergencia en sí. Aplica también a la capacidad de incorporar cierta frecuencia de estos even-

tos a la naturaleza, procedimientos y operaciones de nuestros sistemas de gobernanza y de producción. Para facilitar que esto suceda, este manuscrito documenta observaciones y eventos cotidianos y excepcionales asociados al paso y periodo de emergencia del huracán María, con algunas direcciones para mejorar la situación del país y de forma tal que se añadan al almacén de la memoria colectiva puertorriqueña. El desarrollo de esa memoria es imprescindible para el desarrollo de sistemas, ya sea ecológicos o sociales, con mayor resiliencia ante disturbios externos y eventos extremos (Odum 1969, Odum 1994). La tenacidad de las comunidades puertorriqueñas no es suficiente para responder mejor a tales eventos en el futuro. Tal cómo para salir del atolladero socio-económico cuasi-permanente que estanca la capacidad de desarrollar nuestros recursos naturales de manera sustentable para asegurar el bienestar socio-económico de los puertorriqueños, para que nuestro sistema social-ecológico sea más resiliente a eventos extremos, y hasta se alimente y crezca a partir de ellos como hicieron nuestros sistemas naturales, hay que desarrollar y enriquecer nuestra memoria colectiva.

AGRADECIMIENTOS

Este manuscrito está dedicado al Sr. José “Papo” Robles y al Sr. Luis Sepúlveda de Añasco, Puerto Rico. Los estudiantes Beatriz Vázquez Torres y Roberto Arroyo Martínez prestaron ayuda voluntaria en las salidas de campo. El desarrollo y preparación final de este manuscrito fue apoyado por los proyectos No. 1009339, 1012459 y 21878230 de USDA-NIFA y por USDA Forest Service Southern Research Station y el Instituto Internacional de Dasonomía Tropical.

REFERENCIAS

Aubréville, A. 1938. Regeneration patterns in the closed forest of Ivory Coast. Páginas 523-537 en: Chazdon, R.L. y Whitmore, T.C., Eds. 2001. Foundations of tropical forest biology: Classic papers with commentaries. University of Chicago.

Cruz Aguilar, R., y Abelleira Martínez, O.J. 2019. Growth and survival of *Pterocarpus officinalis* trees planted in riparian forests dominated by African tulip tree in northern Puerto Rico. Invasive Species Awareness Week Symposium, 26 de abril de 2019. Colegio de Ciencias Naturales, UPR, Río Piedras.

Hubbell, S.P. 2001. The unified neutral theory of biodiversity and biogeography. Princeton University, New Jersey.

Jury, M. 2018. Hurricane María's unique meteorology. Physics Department and Meteorology Society Colloquium, 10 de mayo de 2018. Colegio de Artes y Ciencias, UPR, Mayagüez.

Lugo, A.E. 2008. Visible and invisible effects of hurricanes on forest ecosystems: An international review. *Austral Ecology* 33: 368-398.

Lugo, A.E. 2009. The emerging era of novel tropical forests. *Biotropica* 41: 589-591.

Lugo, A.E. 2019. Social-ecological-technological effects of Hurricane María on Puerto Rico: Planning for resilience under extreme events. Springer Nature, Switzerland.

Lugo, A.E., Carlo, T.A., y Wunderle Jr., J.M. 2012. Natural mixing of species: Novel plant-animal communities on Caribbean Islands. *Animal Conservation* 15: 233-241.

Odum, E.P. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 164: 262-270.

Odum, H.T. 1994. Ecological and general systems: An introduction to systems ecology. University Press of Colorado.

Parolin, P., Lucas, C., Piedade, M.T.F. y Whittman, F. 2010. Drought responses of flood-tolerant trees in Amazonian floodplains. *Annals of Botany* 105: 129-139.

Pasch, R.J., Penny, A.B., y Berg, R. 2018. National hurricane center tropical cyclone report: Hurricane María (al152017), 16–30 September 2017. National Hurricane Center, NOAA.

Rodríguez Durán, A. 2005. Murciélagos. Páginas 241-274 en: Joglar R. (ed), Biodiversidad de Puerto Rico: Vertebrados y ecosistemas. Editorial del Instituto de Cultura, Puerto Rico

Shimizu, Y. 2005. A vegetation change during a 20-year period following two continuous disturbances (mass-dieback of pine trees and typhoon damage) in the *Pinus-Schima* secondary forest on Chichijima in Ogasawara (Bonin) Islands: which won, advanced saplings or new seedlings? *Ecological Restoration* 20: 708-725.

Song, J., Chen, C., Zhu, S., Zhu, M., Dai, J., Ray, U., Li, Y., Kuang, Y., Li, Y., Quispe, N., Yao, Y., Gong, A., Leiste, U.H., Bruck, H.A., Zhu, J.Y., Vellore, A., Li, H., Minus, M.L., Jia, Z., Martini, A., Li, T., y Hu, L. 2018. Processing bulk natural wood into a high-performance structural material. *Nature* 554: 224-228.

Túa Ayala, G.Z. 2019. Canopy leaf area of novel forests in moist Puerto Rico: Implications for agroforestry. Invasive Species Awareness Week Symposium, 26 de abril de 2019. Colegio de Ciencias Naturales, UPR, Río Piedras.

Van Bloem, S.J., Murphy, P.G., Lugo, A.E., Ostertag, R., Rivera Colón, M., Ruiz Bernard, I., Molina Colón S., y Canals Mora, M. 2005. The influence of hurricane winds on Caribbean dry forest structure and nutrient pools. *Biotropica* 37: 571-583.

Van Bloem, S.J., Murphy, P.G. y Lugo, A.E. 2007. A link between hurricane-induced sprouting, high stem density and short canopy in a tropical dry forest. *Tree Physiology* 27: 475-480.

Wadsworth, F.H. 2012. Los bosques y el uso de madera en Puerto Rico. Ediciones digitales (URL: <http://edicionesdigitales.info/biblioteca.html>).

MANIFIESTO DE PALMAS DEL MAR ¿QUÉ HACER SI EL MAR NO SE QUEDA QUIETO Y LAS COSTAS SIGUEN CAMBIANDO?

Ariel E. Lugo¹, Maritza Barreto Orta², Miguel Canals Silander³,
Ruperto Chaparro⁴, María Santos Corrada⁵, Ernesto Díaz⁶,
Juan G. González Lagoa⁷, Edwin A. Hernández Delgado⁸ y José Molinelli⁹.

¹ Instituto Internacional de Dasonomía Tropical, USDA Forest Service. 1201 calle Ceiba Jardín Botánico sur, Río Piedras, PR. 00926-1115.

² Escuela de Planificación de la Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, PR.

³ Departamento de Ciencias de Ingeniería y Materiales y Departamento de Ciencias Marinas, Universidad de Puerto Rico Recinto de Mayagüez, Mayagüez PR.

⁴ Programa Sea Grant, Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez, Mayagüez, PR. 00681-9000.

⁵ Escuela de Negocios y Empresarismo, Universidad Ana G. Méndez, Recinto de Gurabo, PR.

⁶ Programa del Manejo de la Zona Costanera, Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, San Juan, PR.

⁷ Profesor Emérito de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez, Mayagüez, PR.

⁸ Centro Para la Ecología Tropical Aplicada y Conservación y Sociedad Ambiente Marino. Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, PR.

⁹ Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, PR.

INTRODUCCIÓN

Palmas del Mar *Homeowners Association* auspició el Primer Simposio Sobre Erosión Costera durante los días 20 y 21 de enero del 2017. El objetivo del simposio era activar a las comunidades costeras para actuar en su protección ante el aumento en el nivel del mar, utilizando el conocimiento científico y adaptándolo a la experiencia mundial y a nuestras condiciones climáticas, ambientales, legales y económicas. Este artículo resume los puntos principales presentados durante el Simposio. La intención es compartir con otras comunidades costeras de Puerto Rico la información científica disponible y necesaria para entender la situación presente de las costas puerторriqueñas. Con tal conocimiento las comunidades están en mejor posición para desarrollar estrategias de adaptación y mitigación efectivas a su entorno costanero particular. Las ilustraciones y tablas utilizadas en este artículo provienen de distintas publicaciones

y las referencias están disponibles de los autores¹. Recomendamos *La Cartilla de la Zona Marítimo Terrestre* como documento complementario a este. La cartilla está disponible libre de costo en: <https://www.treeseearch.fs.fed.us/>. Al entrar a la página escriba *Acta Científica* en el encasillado marcado "title" y oprima el volumen 18 cuando aparezca la lista de volúmenes de la revista.

EL NIVEL DEL MAR: PASADO, PRESENTE Y FUTURO

La historia geológica de Puerto Rico contiene momentos fascinantes desde sus comienzos en la costa oeste de Sur América y durante su paso hacia el Caribe por el istmo de Panamá antes de que éste desa-

¹ Playas-Maritza Barreto Orta, olas y oceanografía física-Miguel Canals Silander, zona costanera-Ruperto Chaparro o Ernesto Díaz, economía y empresarismo-María Santos Corrada, biología marina-Juan G. González Lagoa, arrecifes de coral-Edwin A. Hernández Delgado, geomorfología-José Molinelli, ecología-Ariel E. Lugo.

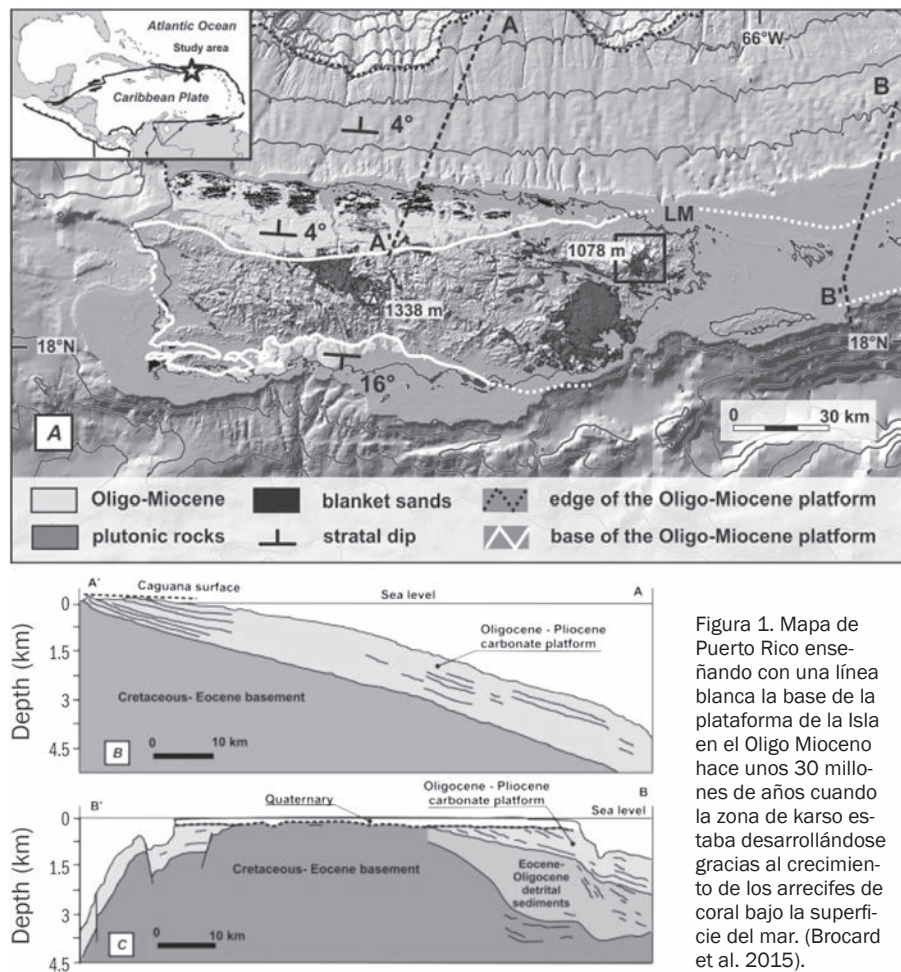


Figura 1. Mapa de Puerto Rico enseñando con una línea blanca la base de la plataforma de la Isla en el Oligo Mioceno hace unos 30 millones de años cuando la zona de karso estaba desarrollándose gracias al crecimiento de los arrecifes de coral bajo la superficie del mar. (Brocard et al. 2015).

pareciere permitiendo la conexión entre Norte y Sur América. La historia que enfatizamos aquí comienza entre 30 y 23 millones de años antes del presente cuando aproximadamente el 27 por ciento del área del Puerto Rico de hoy estaba sumergida bajo el mar. La isla era más pequeña y más estrecha que hoy (Fig. 1). En ese momento, las Montañas de Luquillo donde está El Yunque, era una de varias islas (Fig. 2) formadas por los picos más altos de la Cordillera Central.

Durante ese periodo cuando parte de Puerto Rico estuvo sumergido, arrecifes de coral crecían alrededor de la Isla. Con la retirada del mar, esos arrecifes de coral se expusieron a la atmósfera y comenzó la erosión que le dio forma a los mogotes, sumideros, cuevas y valles que hoy observamos en la zona del karso (Lugo et al. 2001).

Cuando el mar se retiró, su nivel se redujo tanto que se podía caminar de la costa este de Puerto Rico a las islas de Culebra y Vieques. Entonces, la Isla era más larga de oeste a este, pero más estrecha de norte a sur de lo que es hoy. Durante los últimos 8,000 a 12,000 años, el nivel del mar ha aumentado sobre 14 metros (Fig. 3). La velocidad en el aumento del nivel del mar inicialmente fue rápida (5.2 mm/año) y luego se redujo a 0.9 mm/año (Fig. 4). Estudios en los manglares caribeños demuestran que estos han mantenido su posición en la costa a pesar del incremento en el nivel

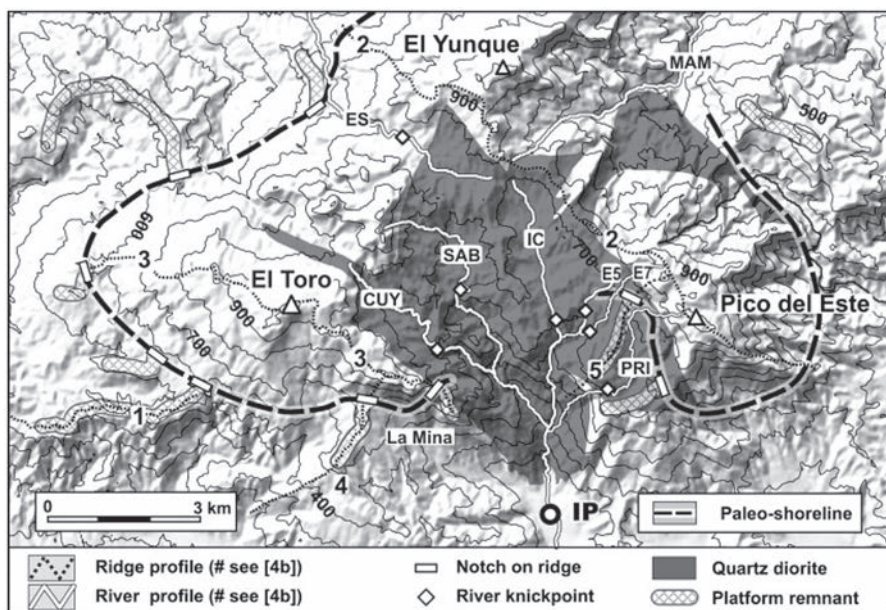


Figura 2. Mapa topográfico de las Montañas de Luquillo ilustrando con la línea entrecortada gruesa el nivel del mar alrededor de las Montañas hace unos 30 millones de años. Las Montañas de Luquillo eran una isla en ese momento. (Brocard et al. 2015).

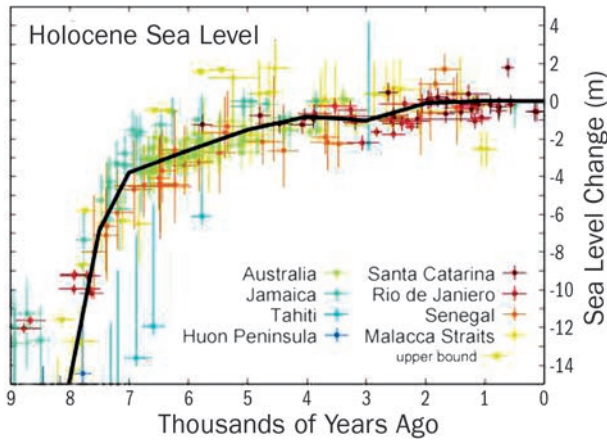


Figura 3. Aumento en el nivel del mar asociado al Holoceno. El Holoceno es la época geológica de los glaciales. Con la formación de glaciales el mar bajó en nivel y luego aumentó cuando los glaciales se derritieron. El Holoceno duró unos 10,000 a 12,000 años. Los datos en esta gráfica son de los últimos 8,000 años y representan medidas en todo el planeta.

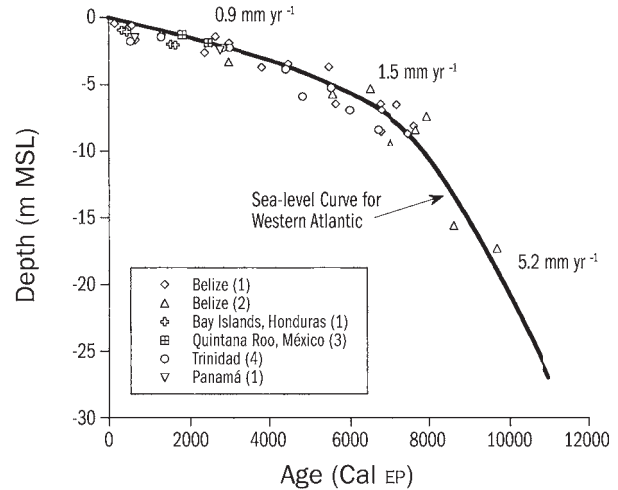


Figura 4. Posición del piso de los manglares del Caribe en relación con el nivel del mar durante los pasados 11,000 años (McKee, Cahoon y Feller 2007). El cero (0) corresponde al presente.

del mar. Para mantener su posición relativo al nivel del mar, los manglares producen y acumulan materia orgánica y atrapan sedimentos que los eleva a igual velocidad que el aumento en el nivel del mar.

Entre el 1956 y el presente, el nivel del mar continúa aumentando y recientemente se observó una aceleración en la velocidad de aumento (Fig. 5). Medidas en La Parguera y la Bahía de San Juan confirman un patrón de aumento en el nivel del mar en ambas costas de Puerto Rico. El aumento en el nivel del mar no solo ocurre en Puerto Rico, es un fenómeno global cuya tasa de aumento entre el 1993 y 2010 fue de 3.26 mm/año. Recientemente se han medido tasas de aumento en el nivel del mar de hasta 10 mm/año.

El Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América proyectó para Puerto Rico un aumento en el nivel del mar de 3 metros para 2150 (Fig. 6). Sin embargo, con la aceleración reciente en la velocidad de subida del mar, algunos anticipan un aumento más rápido de 3.75 metros para el 2100. El profesor de oceanografía física del Recinto Universitario de

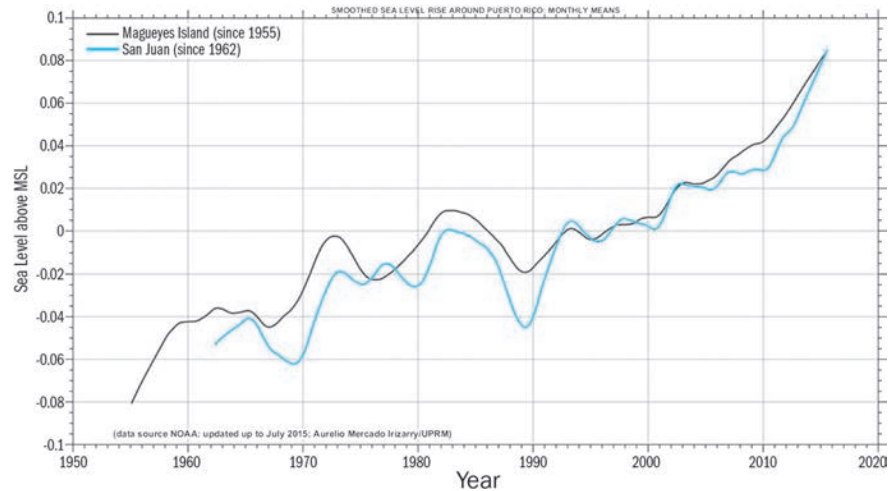


Figura 5. Datos empíricos del nivel del mar en La Parguera y la Bahía de San Juan tomados desde el 1956 al presente. La data fue analizada por el profesor Aurelio Mercado Irizarry del Recinto Universitario de Mayagüez.

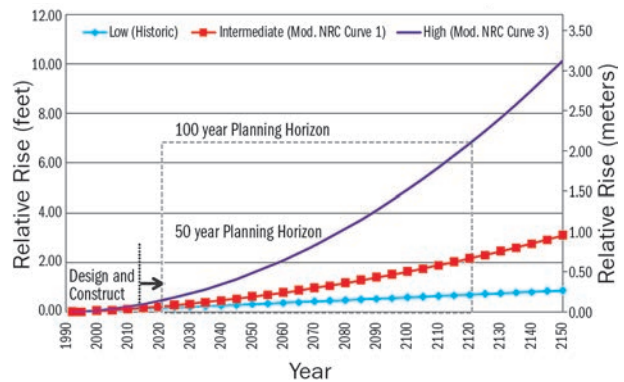


Figura 6. Predicciones del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de América sobre el futuro nivel del mar en San Juan, Puerto Rico. Note el contraste entre la tendencia histórica (línea azul) y las proyecciones moderadas y altas. La caja que cubre 100 años debe servir de guía para diseños de construcción de infraestructura en la zona costanera.

Tabla 1. Predicciones sobre futuros niveles promedio del mar en metros (m) alrededor de Puerto Rico (basado en el análisis del profesor Aurelio Mercado Irizarry del Recinto Universitario de Mayagüez). Las predicciones son para el año 2100 y todas están basadas en premisas y modelos con rigurosidad científica.

Escenario	Rango en el Aumento de Nivel del Mar
Bajo (0.30 m)	0.33-0.36
Intermedio bajo (0.5 m)	0.45-0.502
Intermedio (1.0 m)	1.0-1.1
Intermedio alto (1.5 m)	1.95-2.1
Alto (2.0 m)	2.8-3.0
Extremo (2.5 m)	3.5-3.75

Mayagüez, Aurelio Mercado Irizarry, evaluó todas las predicciones recientes sobre el futuro cambio en el nivel del mar (Tabla 1).

Los estimados intermedios de su análisis predicen un aumento en el nivel del mar en Puerto Rico de 1.0 a 1.1 metros para el 2100. Debemos entender que hay predicciones que llegan a 3.75 metros. Todas las posibilidades (máximas y mínimas) de los distintos modelos que se utilizan para anticipar el futuro nivel del mar están en la Fig. 7. Comenta el profesor Mercado Iriza-

rry que todas estas proyecciones son dinámicas y no podemos aferrarnos a una u otra ya que la situación cambia continuamente. Hay que estar informado y preparado para lo peor, celebrando si no ocurre.

¿POR QUÉ ES TAN INQUIETO EL MAR?

El nivel del mar siempre esta cambiando debido a múltiples fuerzas que lo impulsan ya sea para aumentar como para disminuir su nivel. El resultado es que el nivel del mar nunca permanece estático. Seis factores que afectan el nivel del mar son:

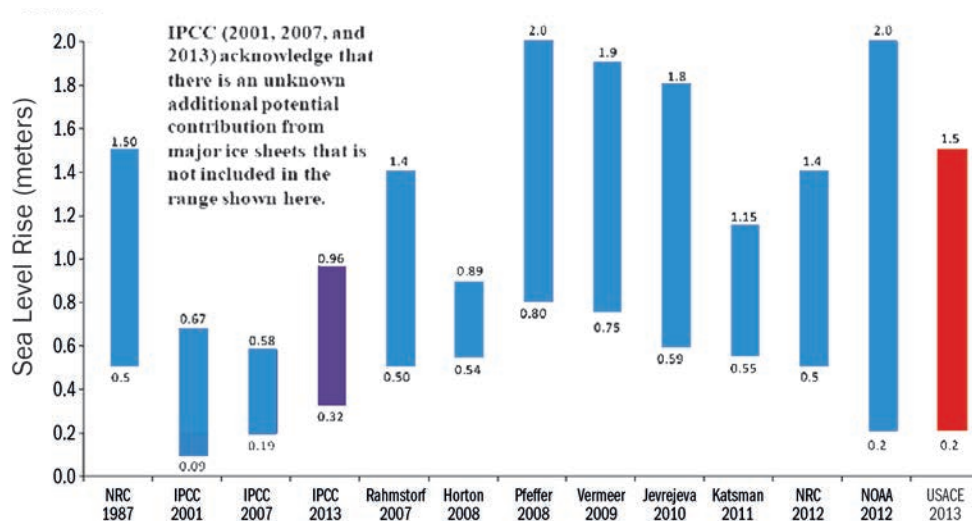


Figura 7. Predicciones de los niveles del mar alrededor de Puerto Rico para el año 2100. Cada barra ilustra el nivel máximo y mínimo esperado (basado en el análisis del profesor Aurelio Mercado Irizarry del Recinto Universitario de Mayagüez). La barra roja corresponde al análisis del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América.

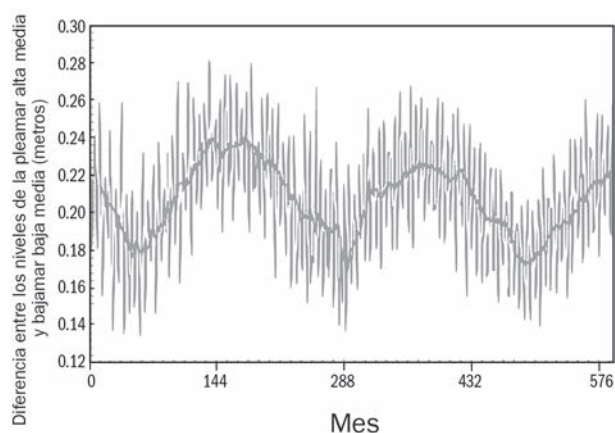


Figura 8. El ciclo metónico de la marea en La Parguera, Puerto Rico. La línea ennegrecida es el promedio corrido basado en 10 años y refleja dos ciclos metónicos en el periodo ilustrado.

1. La fuerza de atracción de la luna y el sol sobre las partículas del agua del mar. Esta fuerza de atracción más el efecto de la rotación del planeta y las posiciones relativas entre la luna, el sol y la tierra, son las causas principales para los ciclos de marea (alta y baja) que ocurren a diario en todas las costas del planeta. Se describen 13 tipos de marea que se manifiestan en innumerables ciclos que se pueden agrupar en el ciclo mareal (diario), ciclo sinódico (mensual) y ciclo metónico. El ciclo metónico se extiende por 18.6 años (Fig. 8).

2. La fuerza del viento puede levantar el nivel del mar cuando sopla constantemente en la misma dirección.
3. La temperatura del agua causa su expansión o contracción. El agua fría se contrae y se torna más densa, hundiéndose. El agua caliente se expande y tiende a flotar sobre el agua fría. El agua en la superficie de mar refleja la temperatura de las corrientes marinas y la temperatura de la atmósfera. Con el calentamiento de la atmósfera, el agua de mar también se calienta, se expande, ocupa más espacio y levanta el nivel del mar.
4. El derretimiento del hielo de los polos y los glaciales a causa del calentamiento de la atmósfera, aumenta la cantidad de agua fresca que llega al mar y por consecuencia aumenta el nivel del mar.
5. Eventos climáticos extremos como tormentas y huracanes revuelcan el mar e incrementan su nivel. Un huracán puede levantar el nivel del mar 15 metros o más. Tal aumento es sobre el nivel promedio del mar. Como ese nivel promedio esta aumentando, el levantamiento del mar por causa de tormentas y huracanes será cada vez más alto. Más aún, sobre el tope de este levantamiento es que se mueven las olas, por lo que éstas cada vez se moverán a niveles más altos que facilitan incursiones más profundas (tierra adentro) en la zona costanera.
6. Movimientos tectónicos de la corteza terrestre (temblores de tierra) en zonas profundas del mar causan pulsos de energía que levantan el nivel del mar y promueven la formación de las olas más grandes del planeta, los tsunamis. Estas olas son las que más tierra adentro incursionan y sobre las cuales hay que estar alerta cuando ocurran. En el 1918, una ola de un tsunami llegó hasta el viaducto de Mayagüez.

¿CUÁLES SON LAS CONSECUENCIAS DEL AUMENTO EN EL NIVEL DEL MAR?

El movimiento del mar en sinergia con fenómenos terrestres afecta la dinámica de la costa y la convierte en un ambiente inestable que los seres humanos tratan de estabilizar, generalmente con poco éxito. Cuando el nivel del mar aumenta, el agua de mar inunda permanentemente las tierras bajas de la zona marítimo terrestre en la zona costanera. El agua de mar también penetra como una cuña de agua salada por los ríos y quebradas que desembocan en el mar y se extiende aguas arriba tan lejos como la impulse las fuerzas de la marea. La descarga de agua fresca por estos cuerpos de agua contrarresta el movimiento de la cuña de agua salada por ríos y quebradas. Finalmente, el agua de mar también entra a los acuíferos costeros y se mezcla con el agua fresca de éstos. Más aún, con el aumento en el nivel del mar, aumentará también la altura y la energía de las olas (Fig. 9). Las olas y las aguas de las mareas altas podrán penetrar más distancia tierra adentro en la zona costanera. Igualmente las olas gigantescas de marejadas y tsunamis también in-

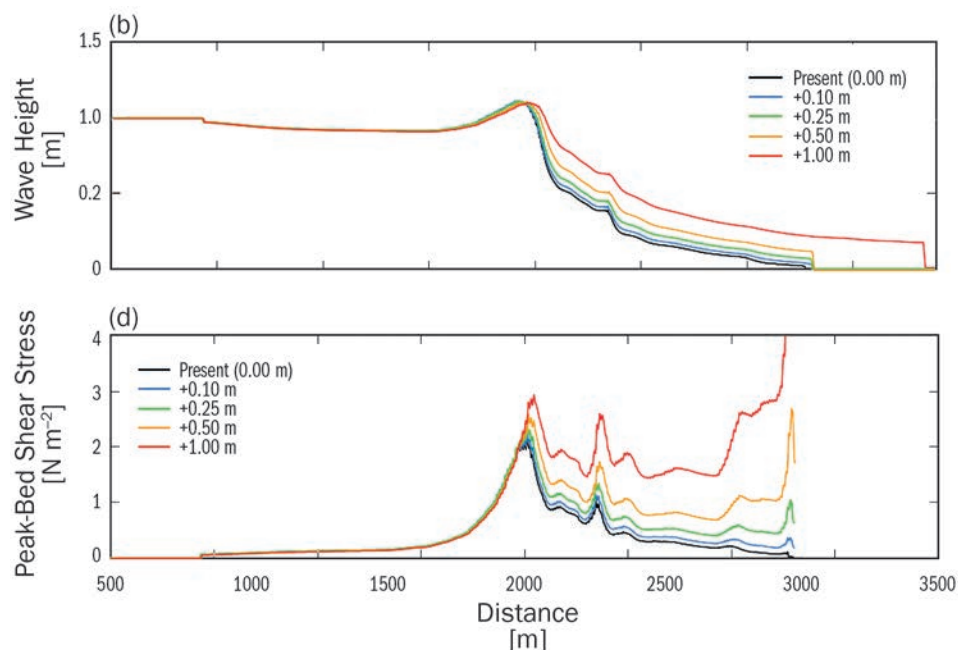


Figura 9. Transecto costero (ver Fig.10) ilustrando cambios anticipados en la altura de las olas (b) y el efecto de éstas sobre el piso del mar (d; shear stress). El transecto comienza 500 metros mar afuera (izquierda) y la línea de costa está a los 3,000 metros. (Storlazzi et al. 2011).

cursorarán más distancia tierra adentro. En fin, con el aumento en el nivel del mar la influencia del mar en la zona marítimo terrestre y el resto de la zona costanera aumentará y es casi imposible detenerlo. Esos cambios en el nivel del mar a su vez aumentan la tasa de erosión costera, aumentan la peligrosidad del mar en la costa, los efectos de los huracanes serán mayores y habrá más desplazamiento de sedimentos costeros (Fig. 10).

LOS ECOSISTEMAS COSTANEROS DE LA ZONA MARÍTIMO TERRESTRE

La zona marítimo terrestre es la parte de la zona costanera donde las aguas del mar incursionan normalmente. Esta zona es un bien no patrimonial que le pertenece a todos los puertorriqueños en general y a nadie en particular. No puede comercializarse y es administrada por el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. Dentro de esta zona se encuentran los siguientes tipos de ecosistemas que por su afiliación al mar son también bienes no patrimoniales del pueblo de Puerto Rico: humedales mareales y estuáricos como los manglares, lagunas costeras, salitrales o marismas, lodazales, bosques y matorrales de uva de playa, dunas de arena, playas, acantilados, siste-

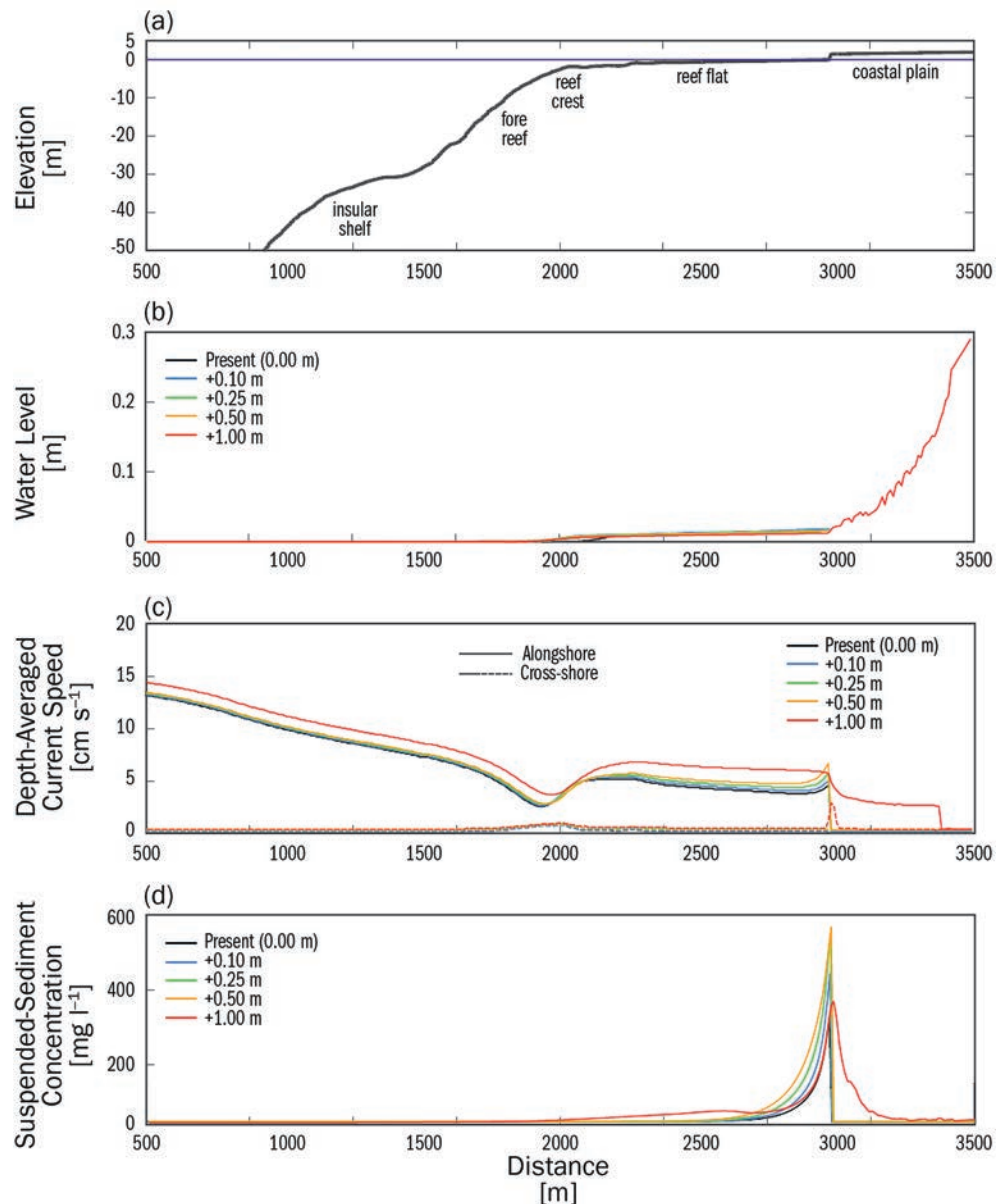


Figura 10. Transecto de la costa hasta las aguas profundas frente a los arrecifes de coral (a). Se ilustran cambios anticipados en el nivel del mar (b), la velocidad de las corrientes (c) y la concentración de sedimentos en suspensión (d). (Storlazzi et al. 2011).

mas inter-mareales rocosos, bahías, hierbas marinas y arrecifes de coral. La Cartilla de la Zona Marítimo Terrestre describe estos ecosistemas.

Los ecosistemas de la zona marítimo terrestre en conjunto protegen las costas de Puerto Rico ya que todos absorben y amortiguan la energía que disipan las olas, mareas y marejadas. Esta protección es uno de los más importantes servicios ecológicos que ofrecen estos sistemas a la sociedad. La barrera ecológica que forman comienza con los arrecifes de coral que

son la primera línea de defensa de las playas contra el embate del mar y termina con las comunidades más lejanas al mar como algunos manglares y lagunas costeras. Los arrecifes de coral son rompeolas naturales (Fig. 11). Las praderas de yerbas marinas también amortiguan la fuerza del oleaje y protegen la costa (Fig. 12). En las costas con oleajes más fuertes como la costa norte de Puerto Rico, las dunas de arena y acantilados funcionan como los amortiguadores contra los embates del mar.



Figura 11. Ejemplo de la distribución de arrecifes de coral frente a una playa. Su presencia amortigua la energía de olas y mareas que normalmente afectan la playa.

Todos estos sistemas costaneros de la zona marítimo terrestre albergan una proporción importante de

la biodiversidad de Puerto Rico y todos almacenan carbono atmosférico lo que ayuda a mitigar el calentamiento global. Algunos,

como los arrecifes, son fuentes medicinales ya que diversas especies de invertebrados poseen compuestos naturales bioactivos contra el cáncer y otras condiciones. Además, estos sistemas son fuentes de alimentos, particularmente de proteínas en muchas islas tropicales.

Más aún, los ecosistemas de la zona marítimo terrestre tienen valor turístico y son fuentes de esparcimiento, recreación y de divisas. Tienen también valor cultural ya que generaciones de personas dependen de ellos. Recientemente, el valor educativo de estos sistemas se ha hecho patente ya que se utilizan como laboratorios naturales para estudiar y aprender.

La vulnerabilidad de estos sistemas a la actividad humana se ilustra con el efecto sobre los arrecifes de coral (Fig. 13). Un arrecife saludable es más efecti-

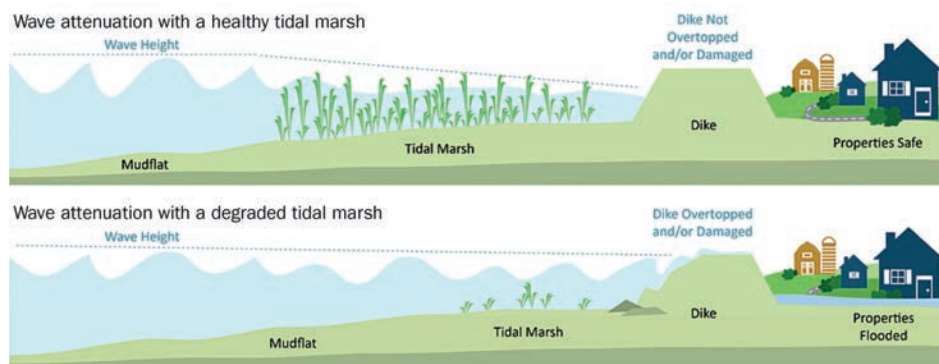


Figura 12. Efecto de lodazales y pantanos sobre las marejadas y oleajes en una costa de la zona templada con diques para proteger la infraestructura humana. Los ecosistemas amortiguan la fuerza y altura del agua, lo que protege el dique. Sin los sistemas ecológicos, el agua puede sobrepasar el dique a la vez que le causa daño.

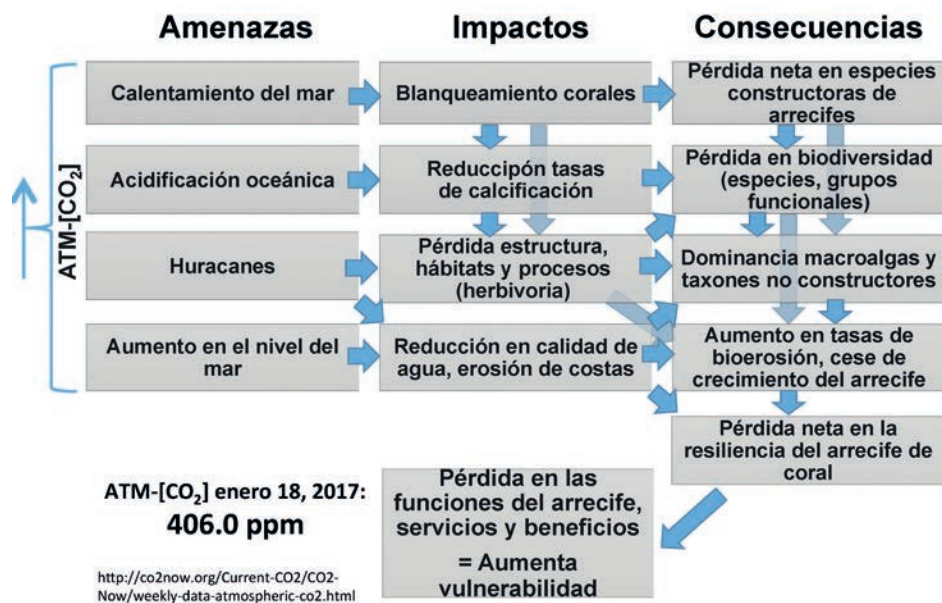


Figura 13. Amenazas, efectos y consecuencias de una concentración de bióxido de carbono en la atmósfera superior a las 400 partes por millón.



Los tipos de oleajes que llegan a nuestras costas varían en la altura de las olas, su frecuencia de rompimiento y la energía que disipan en su trayectoria hacia la playa. La variación se ilustra y extiende en intensidad desde las olas placidas a los tsunamis. Antes del 2008 no existía en Puerto Rico un sistema de observación de oleajes para facilitar el entendimiento y manejo de las condiciones marítimas en las costas del país. La Fig. 15 ilustra el sistema de observación que en el presente provee los datos necesarios para entender los oleajes de Puerto Rico e islas adyacentes. El movimiento de las olas está influenciado por el viento, la profundidad del agua y la forma de la costa (Fig. 16). Los sistemas de vientos que determinan el clima de Puerto Rico también ejercen influencia sobre el sistema de oleaje de la Isla (Fig. 17). Estos “climas del oleaje” incluyen los oleajes asociados a frentes de frío, tormentas del Atlántico norte y los vientos alisios. Cada sistema de vientos tiene influencia sobre distintos sectores de costa del país.

El pasaje del huracán Mathew al sur de Puerto Rico, afectó las costas del país sin haber tocado tierra en la Isla (Fig. 18). Mathew comenzó su vida como una depresión el 25 de septiembre del 2016, se convirtió en temporal el 28 de septiembre, huracán categoría 5 el 30 de septiembre. Mathew pasó lejos y al sur de Puerto Rico entre Haití y Cuba en su paso a las Baha-

The map displays the Caribbean Sea region with various meteorological stations and buoys. Key locations include:

- Stations and Buoys:** Aguadilla, Rincon, Arasco, North Cabo Rojo, South Cabo Rojo, Ponce, Las Marías, Maunabo, Yauco, Fajardo, Vieques, St. Thomas, St. John, Buck Island, and Sandy Point.
- Seagliders:** Seaglider 1 (variable location) and Seaglider 2 (variable location) are shown with their respective tracks.
- IOOS Logo:** Integrated Ocean Observing System.

Diagram illustrating wave motion and its interaction with a beach. The main diagram shows a cross-section of the ocean with labels for 'Crest', 'Trough', 'Wavelength', 'Heightened and sharpened crests', 'Shoreline', 'Surf zone', 'Beach', 'Shoal bottom', and 'Shoal'. A red arrow points from the 'Shoal bottom' area to a smaller inset diagram. The inset diagram shows a cross-section of the beach with labels for 'time (s)', 'z (cm)', and 'x (cm)'. The inset also shows a small graph of wave height over time.

vo protegiendo la costa que uno degradado (Fig. 14). Los arrecifes de coral pueden reducir el 84 por ciento de la altura de una ola y el 97 por ciento de su energía.

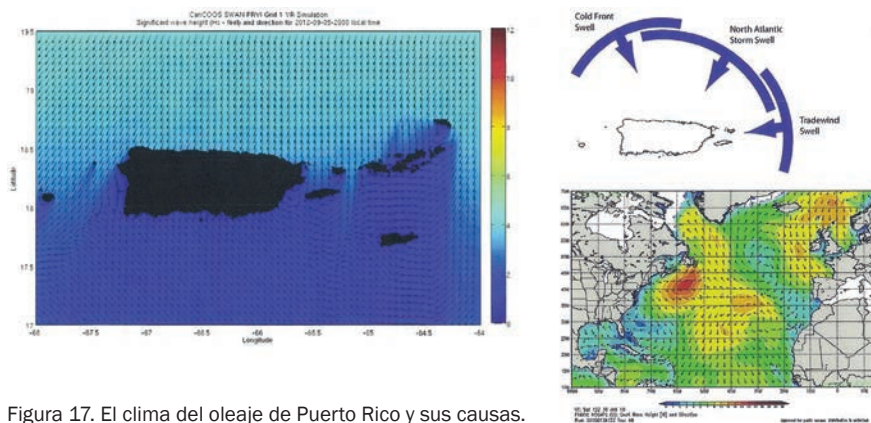


Figura 17. El clima del oleaje de Puerto Rico y sus causas.

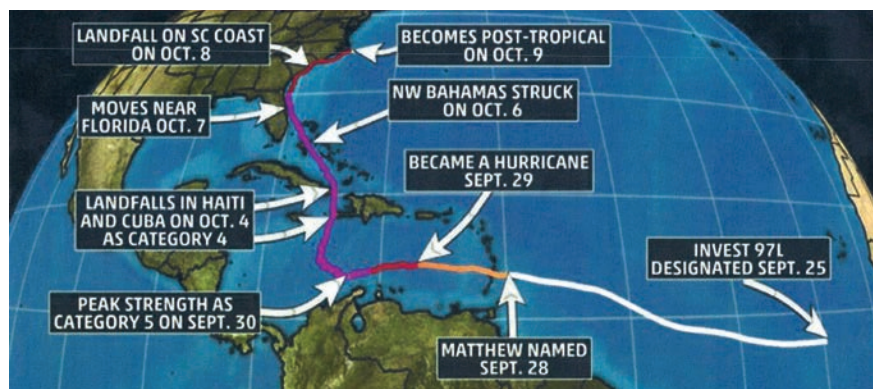


Figura 18. La trayectoria y desarrollo del huracán Mathew por el Caribe y Atlántico desde su comienzo como una depresión tropical el 25 de septiembre del 2016 hasta que se disipó el 9 de octubre del 2016.

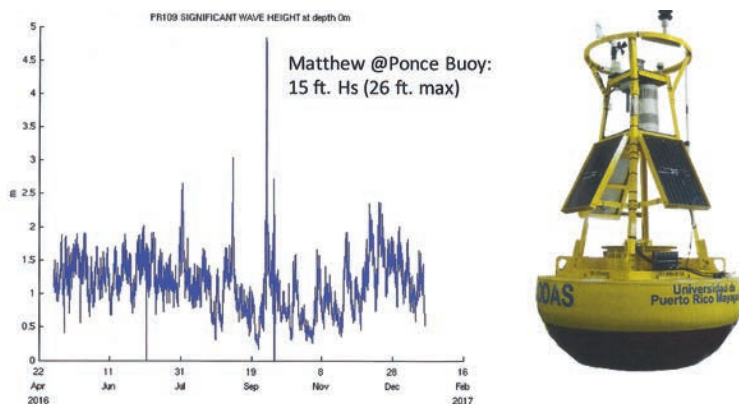


Figura 19. La boya de la Universidad de Puerto Rico ubicada al sur de Ponce (derecha) y los oleajes que registró entre abril y diciembre del 2016. El pico de septiembre 27-29 corresponde al paso del huracán Mathew al sur de Puerto Rico.

mas y Florida. Murió el 9 de octubre del 2016 al norte de Carolina del Sur. El recuento de lo que pasó en las costas de Puerto Rico a consecuencia de este huracán ilustra claramente la complejidad de los factores que afectan nuestras costas y el hecho de que las costas responden tanto a las actividades de los humanos como a eventos que ocurren a distancias lejanas. Un

ejemplo dramático de este fenómeno fue el efecto del evento de El Niño del 2015-2016 sobre las playas de California según estudiado por un grupo de científicos dirigidos por Patrick L. Barnard del Servicio Geológico de los Estados Unidos de América. Los oleajes asociados a este evento excedieron todos los records históricos y causaron niveles de erosión costera nunca vistos en esa región inclusive llegando tierra adentro donde no se esperaban efectos del mar. Erosión costera se define como un déficit de sedimentos a una escala de tiempo particular (día, estación, año).

Una boya ubicada al sur de Ponce capturó el oleaje del huracán Mathew del 27 al 29 de septiembre, el cual llegó a casi 5 metros o 26 pies de altura (Fig. 19). A pesar de la distancia de Mathew al sur de Puerto Rico,

su efecto en el oleaje en la costa sur fue significativo (Fig. 20). Durante el 4 y 6 de octubre, Mathew estaba ubicado al suroeste de Puerto Rico y generaba oleajes con periodicidades de 12 a 13 segundos y alturas de 6 a 8 pies (Fig. 21), afectando principalmente la costa entre Guánica y Mayagüez (Fig. 22). Entre octubre 10 y 12, Mathew afectó toda la costa norte y oeste de Puerto Rico (Fig. 23). La costa en Rincón experimentó grandes cambios durante este evento (Fig. 24).

El oleaje, al igual que los huracanes, presentan retos enormes a las estructuras en la zona costanera y ameritan atención inmediata irrespectivo al cambio climático. Con los efectos “normales” del oleaje tenemos las manos llenas para sobreponernos a sus efectos. La fuerza que ejerce una ola sobre las playas y las estructuras allí ubicadas se mide en unidades de energía. La potencia de las olas es proporcional a su

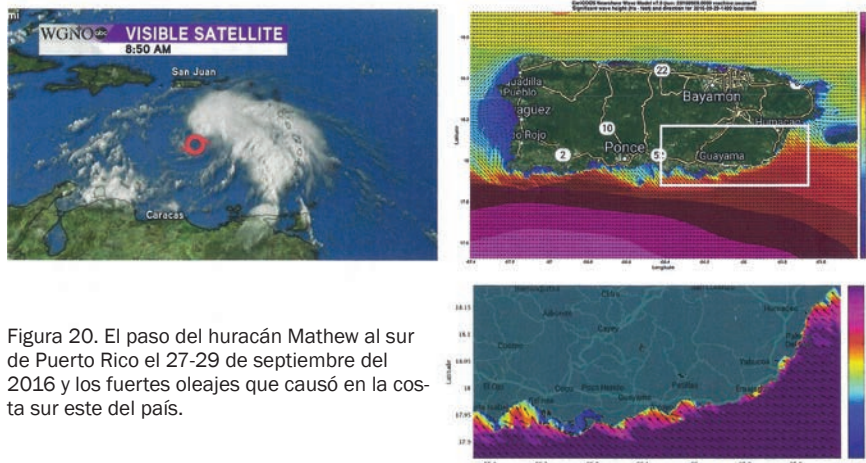


Figura 20. El paso del huracán Mathew al sur de Puerto Rico el 27-29 de septiembre del 2016 y los fuertes oleajes que causó en la costa sur este del país.

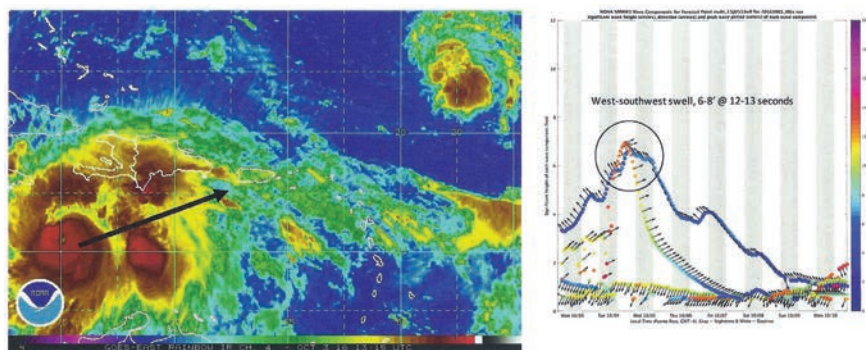


Figura 21. Ubicación del huracán Mathew relativo a Puerto Rico en octubre 4-6 2016 y el desarrollo de oleajes del oeste al suroeste de hasta 8 pies en respuesta al huracán.

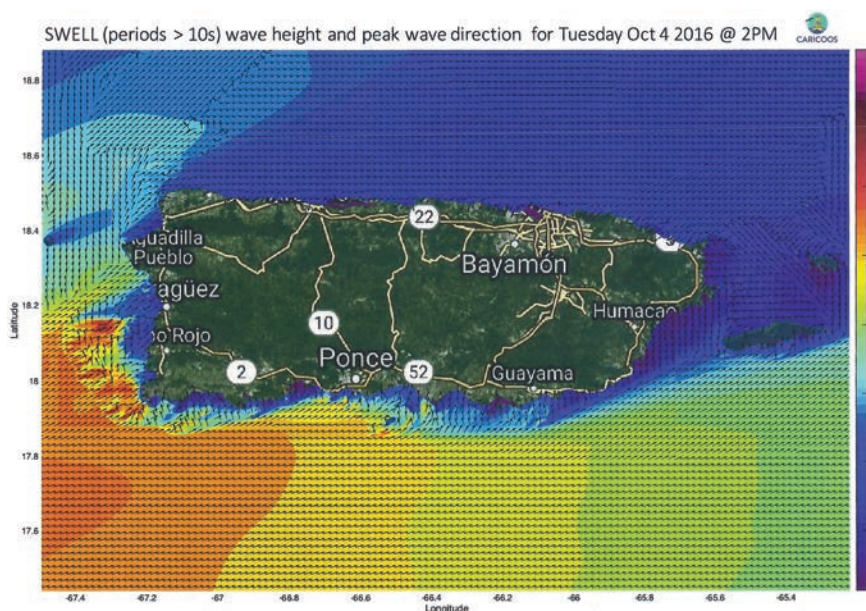


Figura 22. Los oleajes del 4 de octubre del 2016 sobre la costa suroeste de Puerto Rico a causa del paso del huracán Mathew.

altura y frecuencia. En general las olas son más potentes que los vientos. La Fig. 25 compara la potencia de olas de varios tamaños con vientos de un huracán ca-

tegoría 4. Las olas son mil veces más potentes que los vientos del huracán, y sabemos que los efectos de esos vientos sobre bosques y estructuras pueden ser devastadores. Esa diferencia en la potencia de las olas sobre los vientos huracanados explica los catastróficos efectos de los oleajes sobre la propiedad e infraestructura costanera expuestas a sus embates.

Dado a la complejidad del clima del oleaje y sus cambios con eventos como los huracanes, es muy difícil anticipar los cambios adicionales al oleaje en Puerto Rico inducidos por el cambio climático. Sin embargo, no es necesario conocer los cambios en oleajes con el cambio climático para llamar la atención a la importancia del oleaje en el manejo de la zona costanera. Sabemos que si aumenta el nivel del mar, la propagación de las olas va a cambiar aunque su intensidad se mantenga igual a la del presente. Un mar más alto proporcionalmente sostendrá oleajes más altos y estos oleajes incursionarán a más distancia tierra adentro (Fig. 26) donde tendrán efectos visibles sobre la infraestructura y los ecosistemas de la zona marítimo terrestre. En la Figura 26a se ilustra un mar más alto por el cambio climático con las olas corriendo sobre el nivel promedio. En la Figura 26b la alzada del mar se ilustra con una marejada sobre el nivel promedio del mar y las olas se mueven sobre la marejada. Las marejadas siempre ocurrirán, pero con el aumento en el nivel promedio del mar, las olas correrán sobre un nivel de mar cada vez más alto.

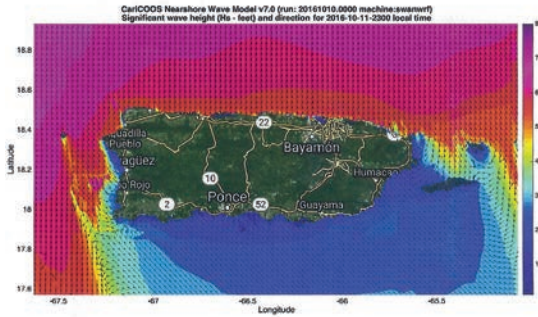


Figura 23. Oleajes intensos causados por el huracán Mathew en la costa norte de Puerto Rico durante el 10 al 12 de octubre del 2016.



LAS COSTAS Y PLAYAS DE PUERTO RICO

Las playas son parte de la zona marítimo terrestre localizadas entre los límites marinos y terrestres de la zona costanera de Puerto Rico (Fig. 27). La zona costanera es un bien de Puerto Rico con múltiples usos y valores (Caja 1). La zona marítimo terrestre es

mucho más amplia que las playas y la zona costanera es más amplia que la zona marítimo terrestre.

¿Cuántos tipos de costas tenemos?

Puerto Rico cuenta con cuatro tipos de costa, cada una con sus variantes y definidas por su aspecto incluyendo costas con vegetación, costas arenosas, costas rocosas y costas con estructuras antropogénicas (Fig. 28). Las playas ocurren sobre una longitud de costa de aproximadamente 1,285 km (700 mi). La

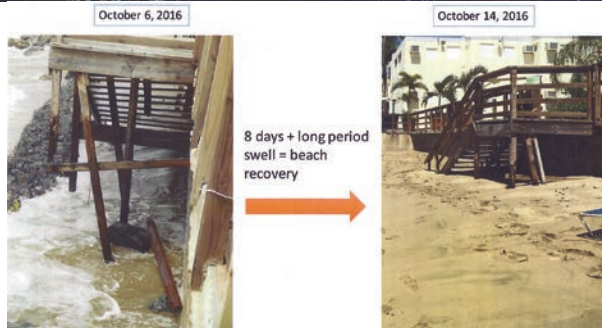


Figura 24. Los efectos de los oleajes asociados al huracán Mathew sobre la costa de Rincón. Las estructuras humanas sufrieron daño (a), mientras que la playa primero perdió pero luego ganó arena (b). La playa exhibió resiliencia pero la pared estática no resistió.

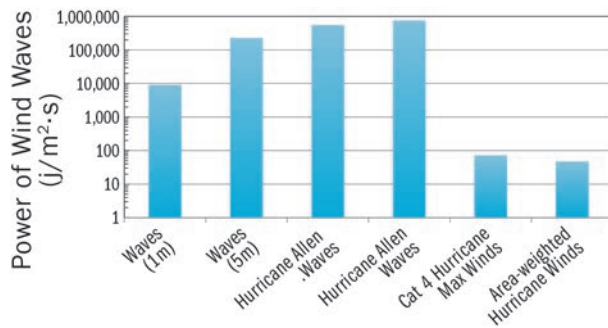


Figura 25. La potencia de las olas comparada con la potencia de vientos huracanados. La escala de potencia es logarítmica indicando que cada línea horizontal de potencia es diez veces superior a la anterior.

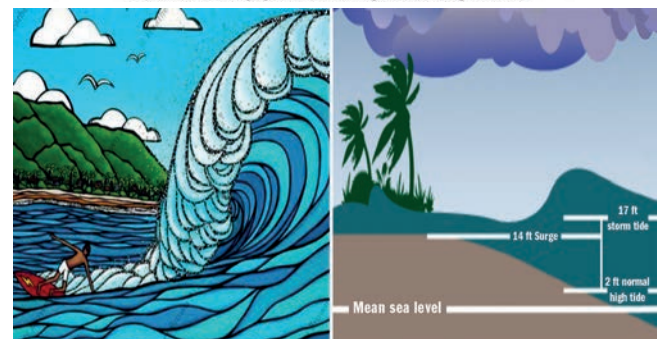
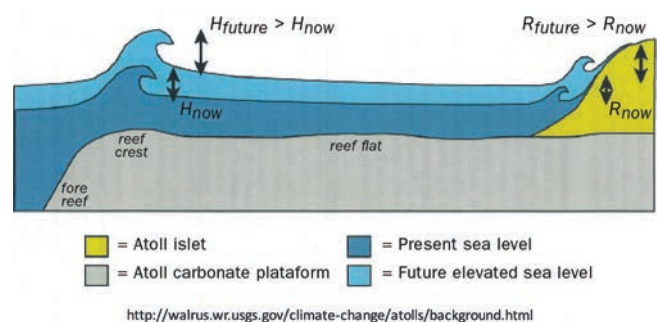
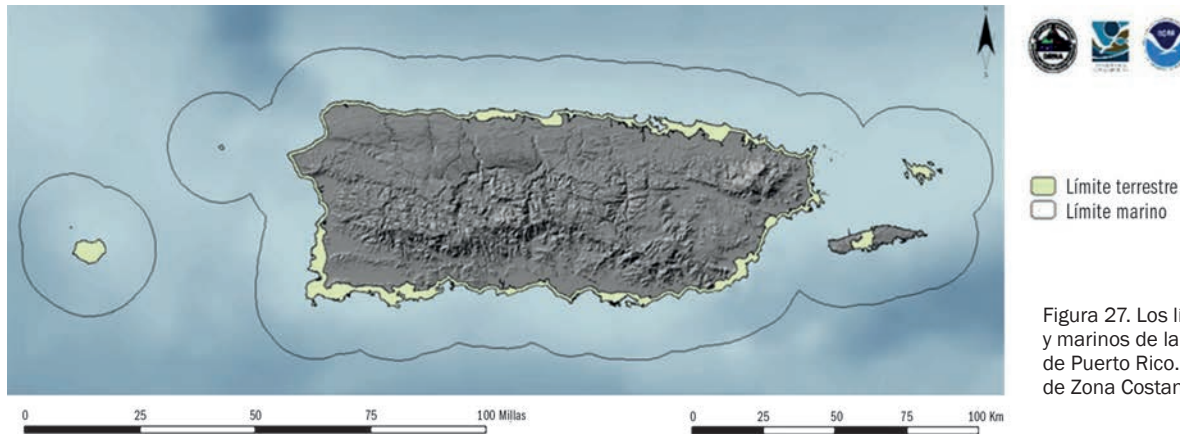


Figura 26. Ilustración del movimiento de olas sobre un nivel promedio del mar más alto que en el presente (a) y sobre una marejada (b). La marejada está asociada a un nivel del mar superior al nivel del mar promedio al igual que la marea alta, cuando el nivel del mar es sobre el promedio pero debajo del nivel de la marejada. En ambos casos la incursión de las olas tierra adentro es mayor.



Caja 1. Usos y valores económicos de la zona costanera de Puerto Rico

- Población costera: 2.3 millón (61 por ciento de la población de PR)
- Zona costanera: ≥ 1 km inland (Área = 368.3 mi²)
- Aguas territoriales: 9 nmi (A=5,078.9 mi²)
- La costa: 799 mi / 1,225 playas
- Por ciento construido de la costa: 24
- Municipios costeros: 44
- Producto Doméstico Bruto (GDP): ~\$65 billion/yr
- Aeropuertos: 11
- Puertos: 12
- Millas de carreteras primarias: 17,387 mi / 27,982 km
- Sistemas de generación de energía: 7 (5 públicos y 2 privados)
- Infraestructura sanitaria: 1,080 mi
- Plantas de tratamiento de aguas usadas: 28
- Parques industriales: 81
- Áreas protegidas terrestres: 16 por ciento de PR
- Áreas protegidas marinas: 27.2 por ciento
- Arrecifes de coral y comunidades marinas asociadas en aguas llanas designados para protección: 49 por ciento

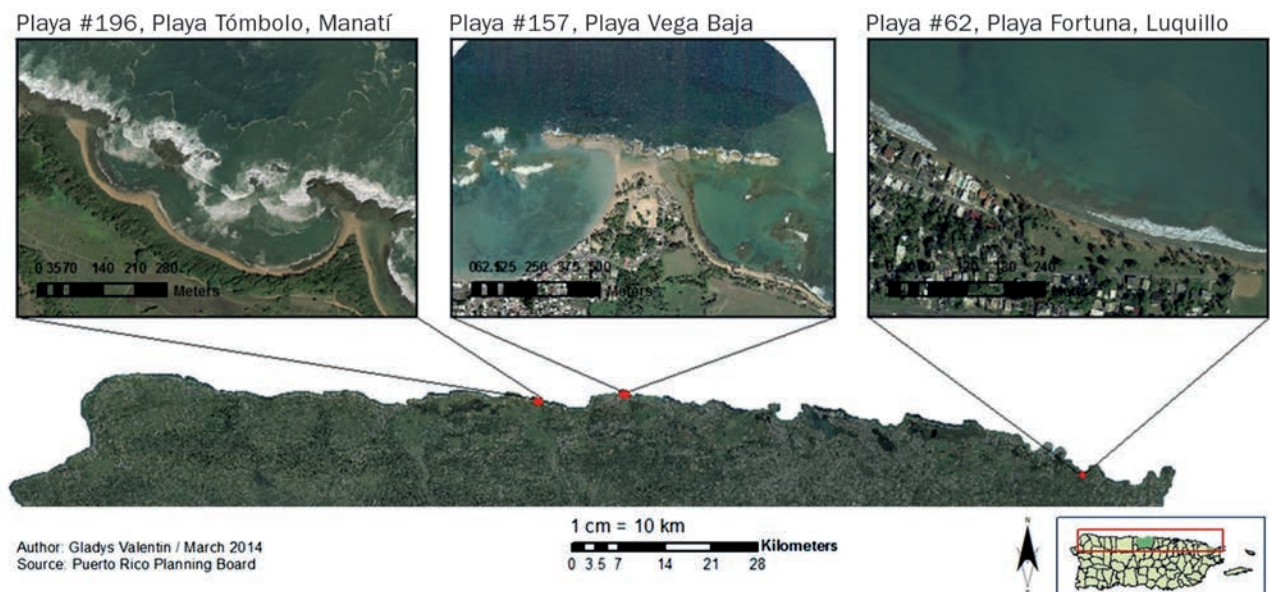
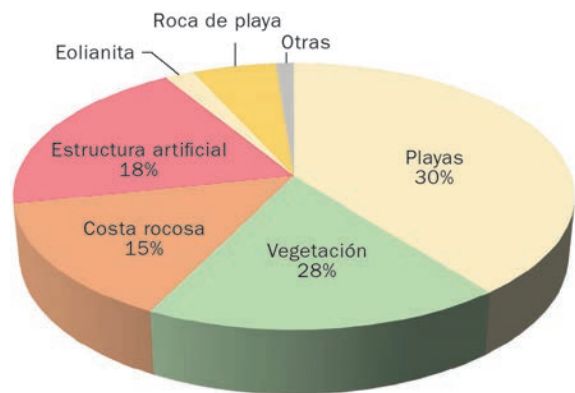




Figura 30. Ejemplo de los tipos de arena en las playas de Puerto Rico.

Tabla 2. Distribución de las 1,225 playas de Puerto Rico.

Región	Número de Playas
Norte (Isabela a Luquillo)	246
Este (Fajardo a Yabucoa)	176
Sur (Maunabo a Lajas)	252
Oeste (Cabo Rojo a Aguadilla)	256
Vieques	172
Culebra	111
Caja de Muertos	12

¿Cuántas playas tenemos?

Puerto Rico cuenta con 1,225 playas (Tabla 2). Los municipios de Vieques, Culebra, Rincón, Cabo Rojo y Ceiba son los que tienen más playas y Vieques, Loíza, Isabela y Arecibo tienen más área de playa (Fig. 31).

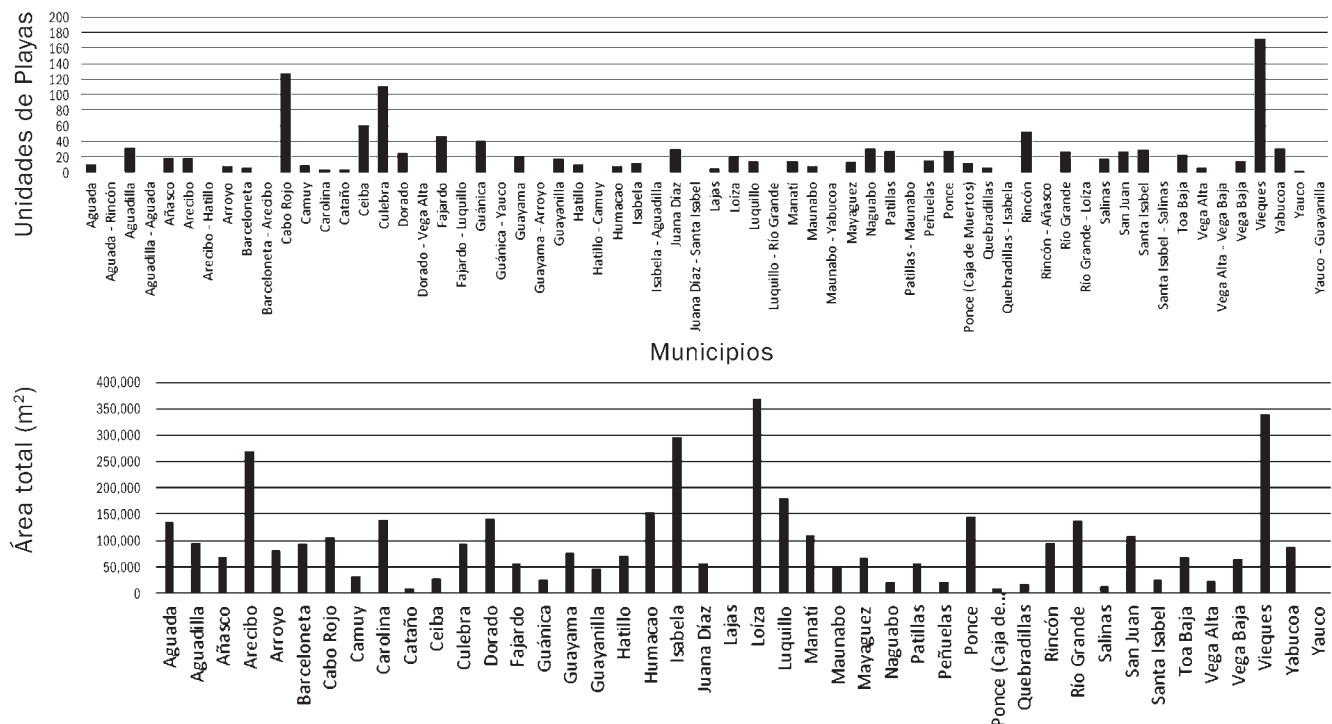


Figura 31. Número de playas (tope) y su área (abajo) por municipio de Puerto Rico. (Barreto y Valentín, 2018. Inventario de playas de Puerto Rico –en proceso de publicación–).



Figura 32. Las playas más largas de Puerto Rico: Piñones-Loíza (tope), Isabela-Aguadilla (medio) y Mameyal en Dorado (abajo). (Barreto y Valentín, 2018. Inventario de playas de Puerto Rico –en proceso de publicación–).

Tabla 3. Cambios históricos en las playas (1964 al 1987).

Intervalo de Tiempo	Eventos Predominantes
1936-1962	Erosión y acreción
1962-1971	Evento de erosión en las mayorías de las playas
1971-1977	Reduce la erosión en la mayoría de las playas
1977-1987	Sigue reduciendo la erosión en la mayoría de las playas estudiadas, hay excepciones.
1987-1997	Exposición de roca de playa en la línea de costa (nuevo equilibrio).
2010	Erosión y acreción. Erosión importante en Loíza, Aguada y Rincón,

Las playas más largas (Fig. 32) son las de Piñones-Loíza (7,621 metros), Isabela-Aguadilla (5,398 metros) y la playa Mameyal de Dorado (4,555 metros).

¿Cómo cambian las playas?

Las playas siempre están cambiando. Estudios demuestran que hay épocas cuando aumentan en tamaño, disminuyen en tamaño o se quedan iguales

en tamaño (Tabla 3). Sin embargo, cada playa responde a sus condiciones particulares y al observar como cambiaron las playas durante distintos intervalos de tiempo se observa la variabilidad en las respuestas (Fig. 33). Por ejemplo, a pesar de que el huracán María afectó significativamente la altura de varias playas en Puerto Rico, no todas perdieron altura y algunas aumentaron en altura (Barreto Orta et al. 2019).

¿Porque cambian las playas?

Hay muchas razones por las cuales el área de las playas cambia de un momento a otro. La Caja 2 contiene una lista de las causales. Cómo hay tantos factores que influyen sobre el estado de una playa y cómo esos fac-

Caja 2. Posibles causales de los cambios observados en el tamaño de las playas

- ▷ Marejadas
- ▷ Localización y orientación costera
- ▷ Corrientes marinas
- ▷ Ocurrencia de sistemas ciclónicos
- ▷ Ancho de la plataforma insular
- ▷ Inclínación de la plataforma
- ▷ Ausencia y/o deterioro de barreras naturales
- ▷ Debilitamiento de barreras naturales
- ▷ Efectos sobre los arrecifes de coral
- ▷ Modificaciones de cuencas hidrográficas y su efecto en la descarga de agua y sedimentos.
- ▷ Actividades humanas (represas, extracción de arena)
- ▷ Posicionamiento de infraestructuras en zonas costeras incorrectas
- ▷ Aumento de nivel del mar
- ▷ Cambio de cobertura y uso de terreno
- ▷ Presencia de cañones submarinos

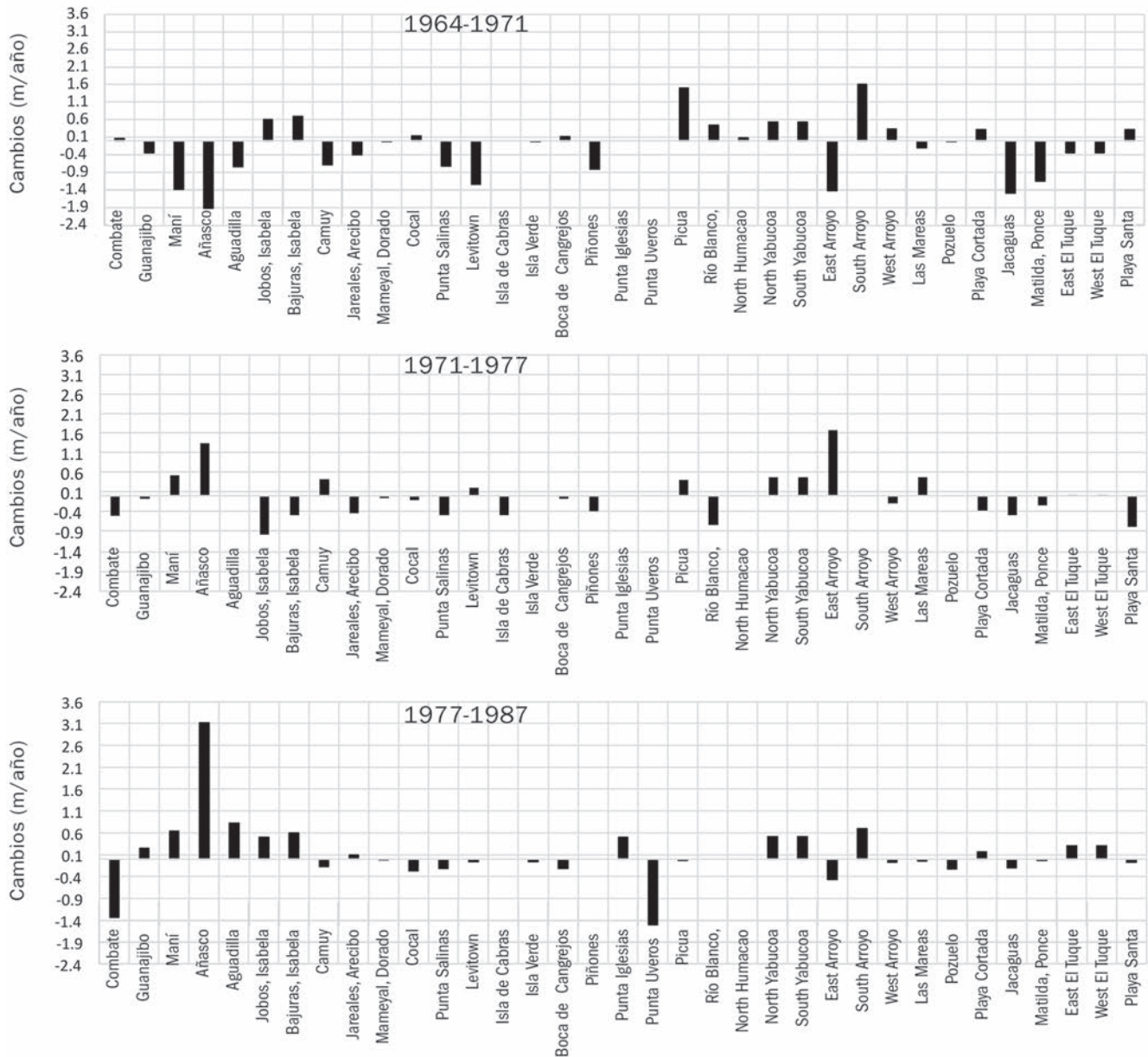


Figura 33. Cambio en el ancho de varias playas en Puerto Rico estudiadas durante tres intervalos de tiempo basados en fotografías aéreas. (Barreto, M. 1997. Shoreline changes at Puerto Rico (1964-1998): Tesis doctoral, Recinto de Mayaguez, Universidad de Puerto Rico).

tores son a su vez dinámicos, el resultado es que cada playa es única y dinámica.

El ciclo de arena de una playa se ilustra en la Fig. 34. La arena de una playa no solo incluye la arena sobre el nivel del mar en un momento dado, sino también la arena en la parte submarina de la playa (i.e., la playa submarina). Existe un intercambio de arena entre la playa y la playa submarina. Las olas son responsables del movimiento de la arena entre las dos playas. En ciertos periodos las olas ayudan a depositar arena de origen submarino so-

bre el nivel del mar, mientras que en otras ocasiones las olas remueven arena de la playa visible y la transportan a la playa submarina. La vegetación terrestre ayuda a conservar la arena de la playa visible y de las dunas mientras que el mucílago orgánico la conserva en la playa submarina. Las fuentes de arena de playa se origina con la erosión de terrenos en la montaña y su transporte a la costa por los ríos y las quebradas. Corrientes marinas laterales a la costa (la corriente del litoral) transportan arena de un lugar a otro a lo largo de la costa. El viento transporta

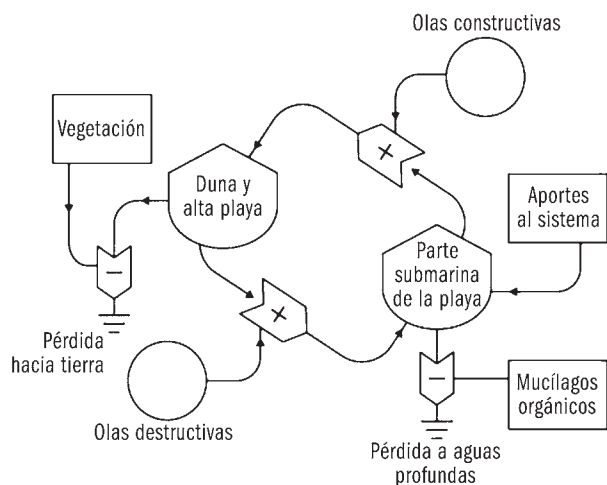


Figura 34. El ciclo de arena de una playa. El texto y La Cartilla de la Zona Marítimo Terrestre describen la interacción entre los componentes del ciclo.

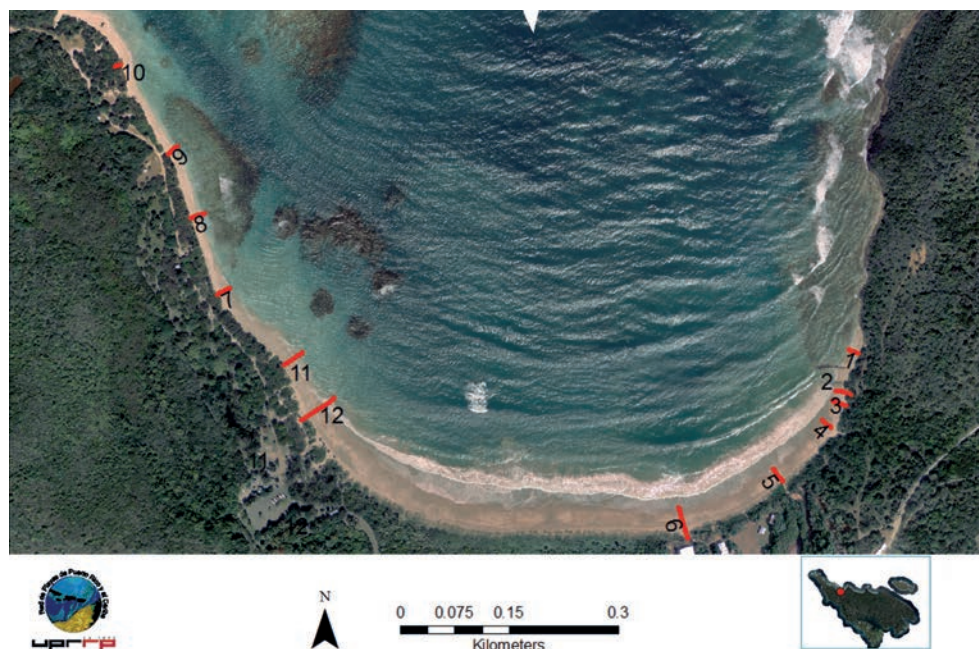


Figura 35. La playa de Flamenco en Culebra ilustrando la ubicación de las estaciones donde se estudiaron los perfiles de la playa. Note el ángulo del oleaje cuando llega a las distintas estaciones de la playa.

arena de las playas a las dunas de arena y a otros ecosistemas de la zona marítimo terrestre. Cuando la arena submarina se pierde a las aguas profundas, es difícil recuperarla e incorporarla al ciclo de área de las playas.

La actividad humana ejerce influencia sobre todos los aspectos del ciclo de arena. Por ejemplo, las extracciones de arena de las playas, dunas, ríos o de depósitos submarinos afectan la cantidad de arena disponible para mantener el estado normal de las playas y las dunas. Si las extracciones de arena son exce-

sivas entonces se pone en peligro la presencia de las playas y dunas. En el caso de las dunas, extracciones excesivas las han eliminado de muchos sectores del litoral costero según mencionamos más adelante en el caso de las dunas de Piñones y como ha ocurrido con las dunas de Isabela. Frecuentemente, la construcción de espolones, muelles u otras estructuras en el agua interrumpen el transporte de arena por la corriente litoral lo que causa que se acumule arena en un lugar y se pierda la playa en otro. El ser humano también acelera la erosión de la playa cuando elimina la vegetación o cuando cambia el perfil de la playa y de la costa con dragados o arrastre de equipo.

Por todo lo anterior, es importante entender que cuando se observa un cambio en una playa o sector de costa, no se puede llegar a conclusiones sobre lo que esta ocurriendo sin antes conocer las circunstancias que afectan al dinámica del sector costero. Los cambios en el estado de las playas pueden deberse a algún fenómeno natural, a un cambio estacional, al efecto de una estructura costera mal diseñada, a la intervención humana, la interrupción de la fuente de sedimentos

o cambios hidrodinámicos como cambio en el nivel del mar o en el patrón de oleaje. De igual manera y paradójicamente, olas gigantescas con enorme cantidad de energía automáticamente no implican mayor erosión costera si las playa donde rompen ya están balanceadas hidrodinámicamente. Por lo tanto, entender y poder manipular la dinámica costera es un asunto complicado que requiere interpretación técnica. Aún más, requiere investigación científica porque los procesos costeros tropicales no han

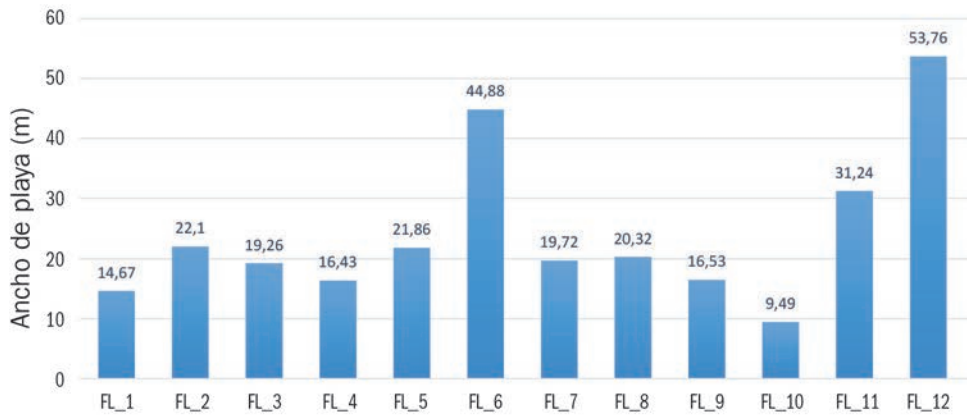


Figura 36. Distribución de ancho de playa en playa Flamenco Culebra, PR el 29 de noviembre del 2016. El ancho de playa es variado a lo largo de la extensión de playa de Flamenco, con variabilidad de 9 a 54 metros.

sido suficientemente estudiados y ante los cambios globales que los afectan el comportamiento de las costas tomará giros no anticipados que representan serios retos a la ingeniosidad humana.

tantes e incluso cambios contrastantes a través del tiempo (Fig. 40).

Palmas del Mar

La playa Palmas del Mar sur ha experimentado dramáticos cambios en altura con respecto al mar

EJEMPLOS DE DIVERSOS SECTORES DE COSTA DE PUERTO RICO

Isla de Culebra

La playa Flamenco en Culebra tiene distintas orientaciones al mar (Fig. 35) y dependiendo de estas orientaciones varía el ancho y elevación del sector de playa (Fig. 36)

Loíza

La playa de Parcelas Suárez en Loíza (Fig. 37) presenta diversos anchos de playa a lo largo de la playa desde el Cen-



Figura 37. Los efectos del embate del mar sobre estructuras en la playa de las Parcelas Suárez de Loíza.

tro Comunal hasta la sección este de la comunidad. Se ha observado erosión severa en secciones de la comunidad que ha producido daños en la infraestructura de Plaza del Atlántico. (Fig. 38).

Manatí

Las playas aledañas La Boca en Barceloneta y Machuca en Manatí (Fig. 39), exhiben anchuras contras-

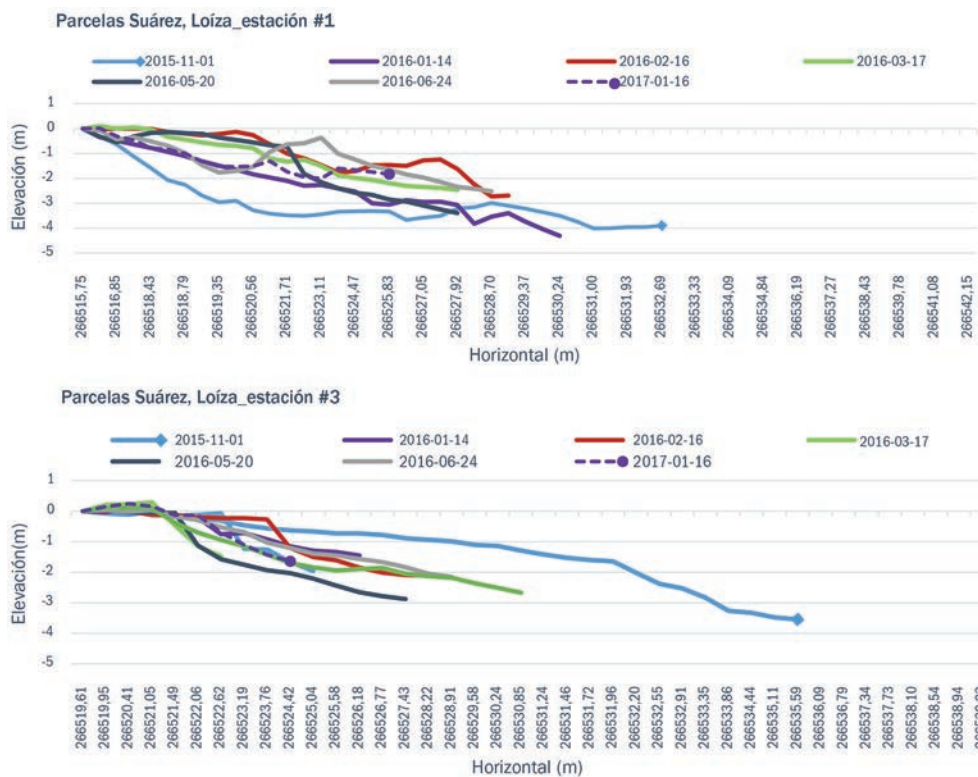


Figura 38. La elevación y ancho de playa mostrado en los perfiles de playas en dos secciones de playas de Parcelas Suárez muestran el comportamiento dinámico del plano de playa a través del año. (Barreto, 2017).

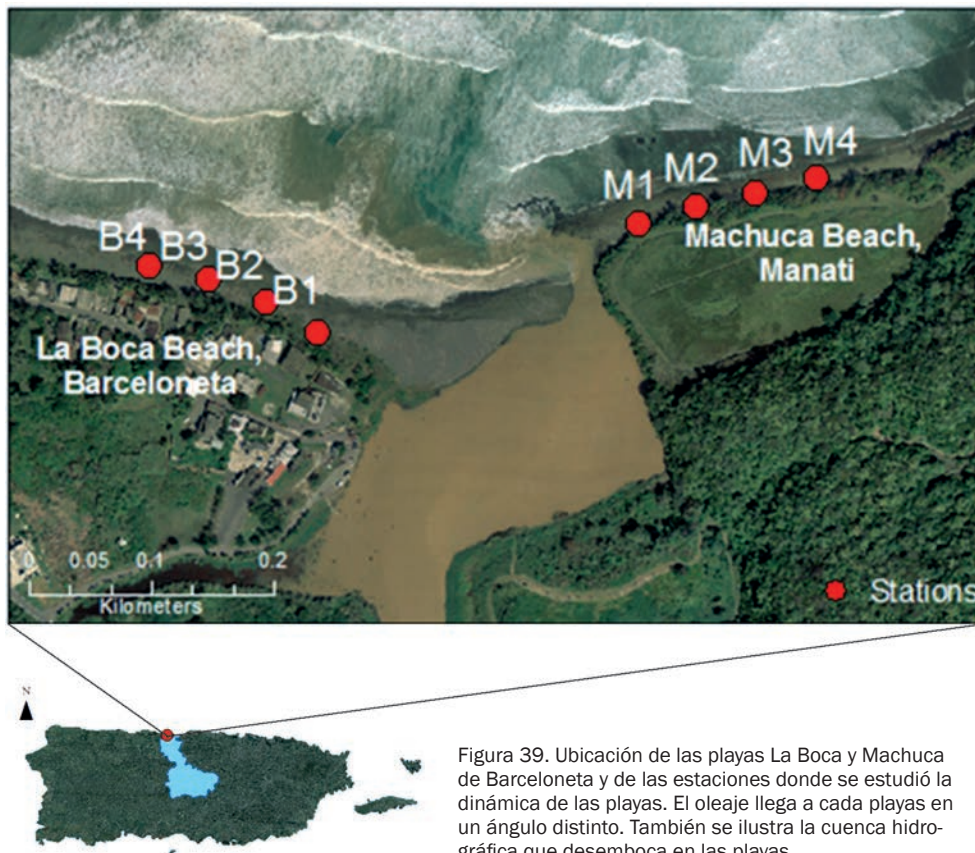


Figura 39. Ubicación de las playas La Boca y Machuca de Barceloneta y de las estaciones donde se estudió la dinámica de las playas. El oleaje llega a cada playas en un ángulo distinto. También se ilustra la cuenca hidrográfica que desemboca en las playas.

entre el 1977 y 2010 (Fig. 41). Algunos sectores han ganado altura mientras otros han perdido. Tanto las ganancias como las pérdidas han sido sustanciales en los distintos sectores de playa estudiados.

Rincón

La línea de costa en Rincón ha variado notablemente entre el 1936 y el 2005 (Fig. 42).

DESAFIANDO EL MAR

Cuando vemos el mar acercarse a nuestras propiedades o infraestructura, la reacción inmediata es hacer algo para detener el avance, o sea desafiar el mar. Los que estén al tanto de los eventos en el área de Piñones donde el mar incursiona sobre la carretera PR 187 recordarán la siguiente secuencia de esfuerzos de parte de las autoridades: remover la arena depositada por el mar (fase inicial tratando de ignorar le problema); instalar desperdicios sólidos, incluyendo automóviles viejos para detener el mar; utilizando piedras e incrementando el tamaño de éstas

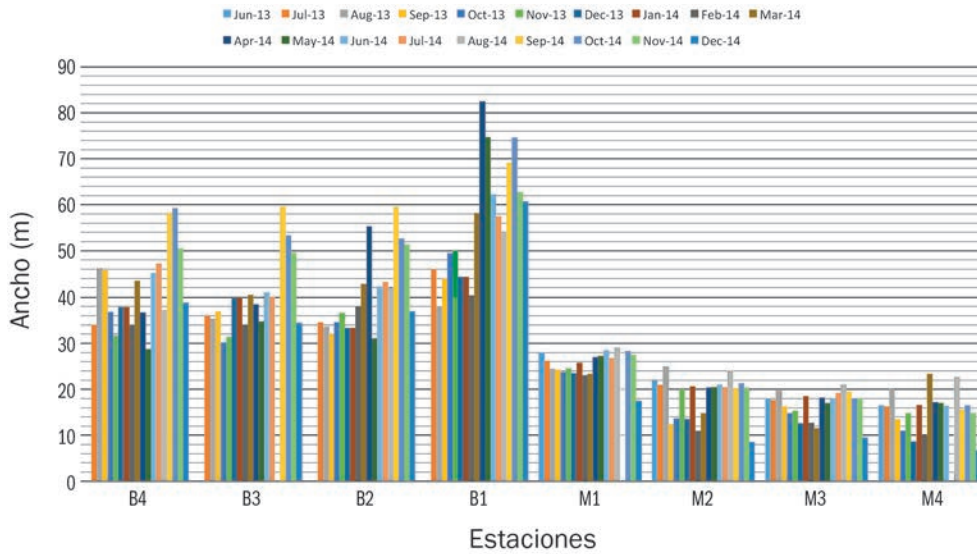


Figura 40. Cambios en el ancho de las playas La Boca y Machuca de Barceloneta según fueron medidos periódicamente en ocho estaciones en el 2013 y 2014.

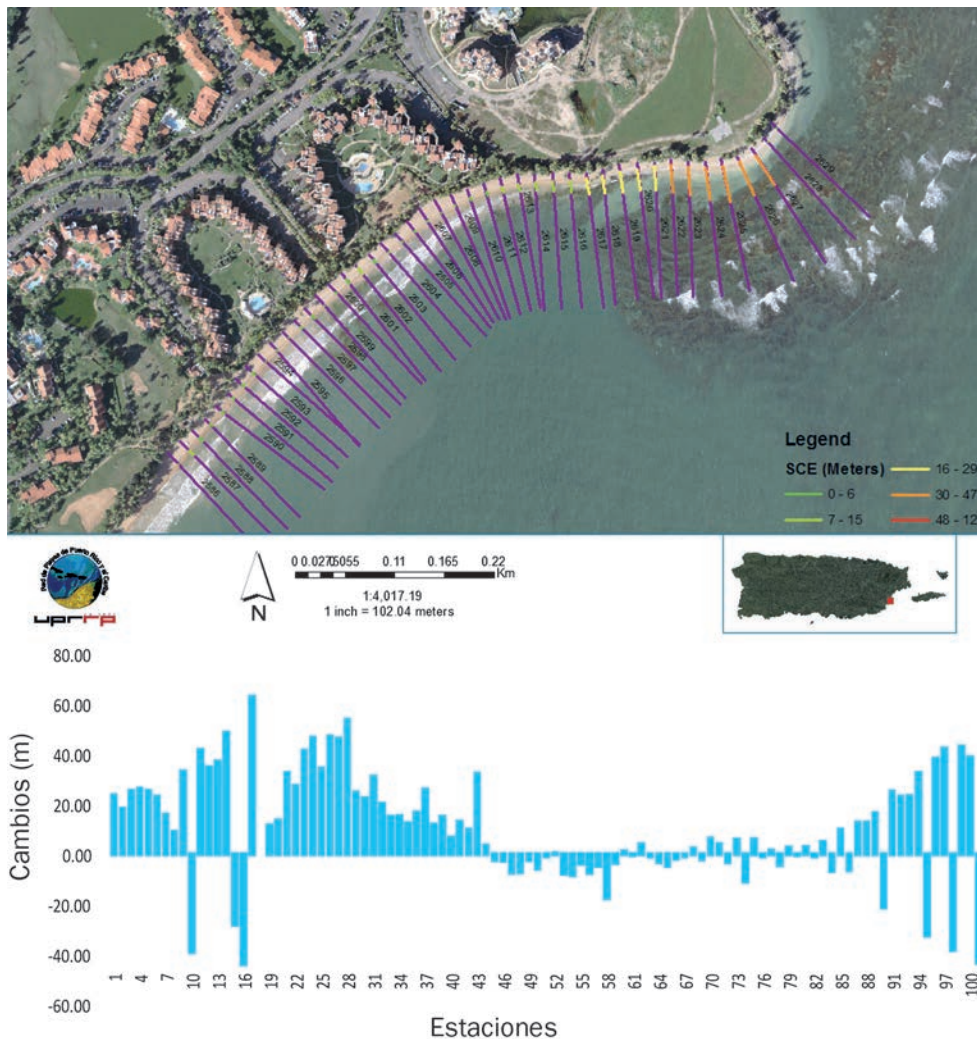


Figura 41. Cambios en el ancho de la playa de Palmas del Mar sur entre el 1977 y 2010 en cien transectos ilustrados en la foto. (Barreto, 2017).

para detener el mar; pedir ayuda al gobierno federal. El Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América respondió al pedido elevando la carretera y llevando a cabo obras a un costo aproximado a 30 millones de dólares. Durante un huracán reciente, el mar sobrepasó la obra federal y depositó enormes cantidades de arena en el extremo sur de la carretera (Fig. 43). En el presente, las autoridades continúan removiendo arena luego de marejadas, tal como la hacían al principio. Sin embargo, las predicciones al futuro sugieren que durante este siglo la PR 187 será intransitable por ser arropada por el mar. El problema original no fue el mar. Las autoridades habían removido la duna protectora de la carretera para rellenar el manglar donde ubicaron el Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín. Cuando el mar arrojó la PR 187, también arrojó el Aeropuerto Internacional (Fig. 44).

Puerto Rico tiene muchos ejemplos de los resultados que obtiene al desafiar el mar. En el Apéndice 1 incluimos fotografías de situaciones por todas las costas de la

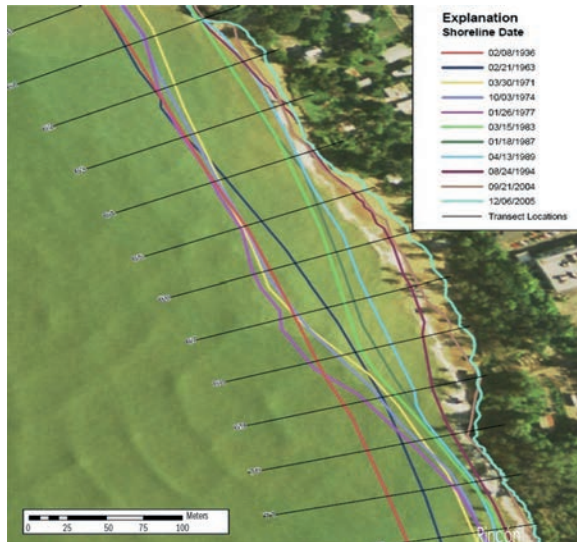


Figura 42. La playa de Rincón ilustrando como ha cambiado la ubicación de la orilla de playa desde el 1936 al presente.

Isla. Además, incluimos fotos históricas y fotos en secuencia de tiempo para ilustrar la dinámica de nuestras costas. Es difícil y costoso construir estructuras que resistan la fuerza de los oleajes continuos. El problema con el mar es que es eterno, nunca descansa y siempre impone su fuerza. Hemos aprendido, y estudios lo confirman (Jackson et al. 2006), que los gaviones no representan alternativas viables para contrarrestar los efectos del mar. No duran mucho

tiempo y al desmenuzarse se convierten en un problema de salud y seguridad pues se desparraman las piedras y los alambres oxidados. Las piedras tienen sus limitaciones también pues su éxito depende de su tamaño y donde las ubicamos con referencia al mar. Los rompeolas pueden funcionar si se ubican y diseñan correctamente. Por otro lado, tanto las piedras como los rompeolas pueden causar efectos no anticipados y negativos cuando se utilizan incorrectamente. Es instructivo entender que los arrecifes de coral sufren enormes efectos estructurales ante los oleajes y marejadas huracanadas y es común ver amontonamientos de corales desprendidos sobre las playas después de esos eventos. Pero contrario a nuestras estructuras, los corales crecen rápidamente después de cada evento y re-establecen su función amortiguadora de energía. La lección aprendida es que ni tan siquiera los ecosistemas más resistentes a los oleajes desafían el mar y el resto de los ecosistemas de la zona marítimo terrestre tienen límites en su tolerancia a los embates de las olas.

ESTRATEGIAS PARA LIDIAR CON EL MAR



Figura 43. Fotografía de los efectos de vientos y marea huracanada sobre un bosque de pino australiano en la zona de Piñones de Carolina, Puerto Rico. El viento afectó la estructura del bosque y la marejada transportó arena de la playa sobre la carretera PR 187, afectando el bosque. Foto de A.E. Lugo.

Tenemos tres opciones para lidiar con el aumento en el nivel del mar. Podemos elegir el enfrentamiento al mar, la retirada de la costa o no hacer nada. Cada una tiene consecuencias que se pueden anticipar. Quizás la mejor estrategia es una combinación de las tres opciones entendiendo que cada una tiene su lugar y ninguna resuelve el problema por si sola. Utilizando múltiples estrategias debemos asegurar que cada acción es la más correcta para cada situación particular. La lista de herramientas para estas estrategias incluye:

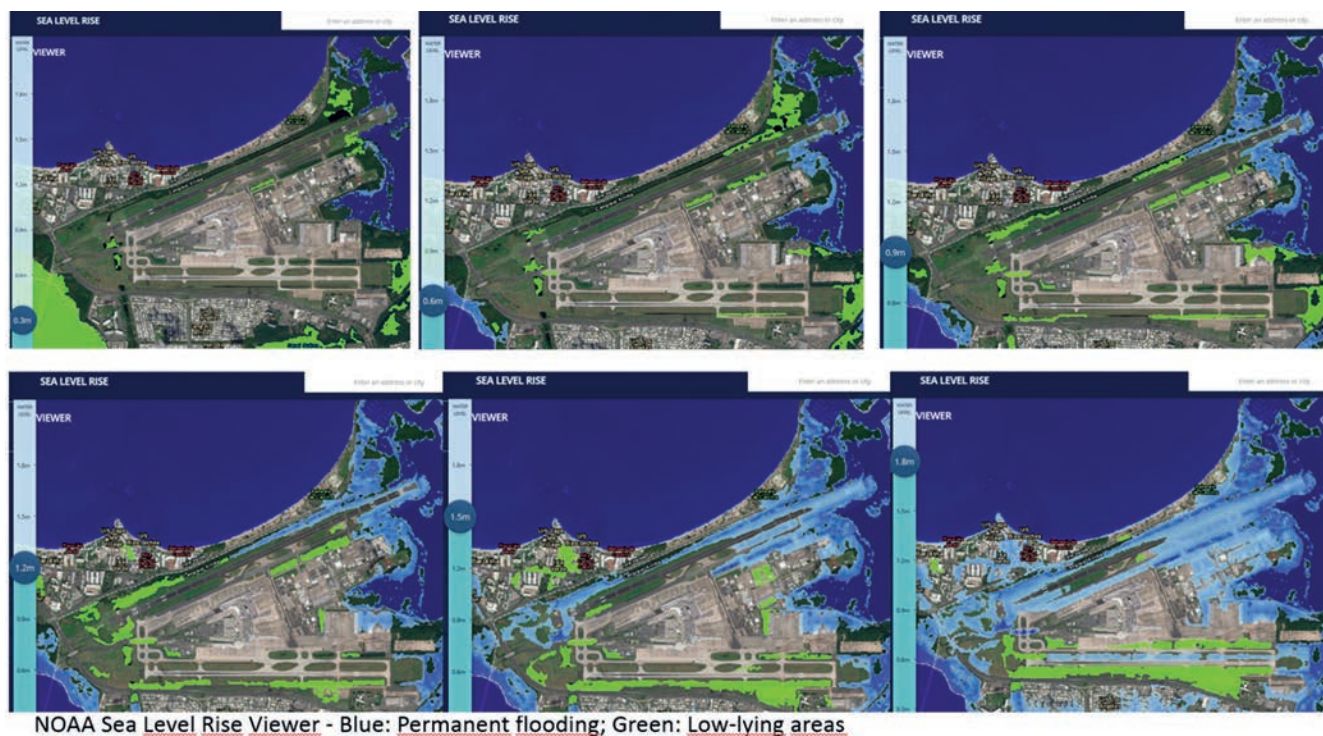


Figura 44. Inundación progresiva y permanente del mar en la región del Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín en Carolina, PR. Cada panel corresponde a una elevación en el nivel del mar anticipada para el 2100.

Uso de estructuras antropogénicas

- › Acorazando la costa
- › Geotextiles/Geotubos
- › Arrecifes artificiales
- › Reforzando estructuras existentes

Protección con sistemas no-antropogénicos

- › Importando arena a la playa
- › Restauración de dunas
- › Uso de vegetación costera
- › Arrecifes artificiales

Retirada planificada

- › Utilizando conceptos de planificación
- › Acatando los límites de uso permisibles dentro de la zona marítimo terrestre
- › Considerando los eventos extremos

Irrespectivo de la estrategia seleccionada, su planificación y ejecución debe incluir un análisis holístico de la situación. Es necesario comenzar con un diagnóstico de las playas y basado en este enten-

dimiento proceder con un enfoque que busque la resiliencia de las playas. Resiliencia es la habilidad de prepararse antes del evento, planificar para absorber y recobrase de eventos extremos y adaptarse a los eventos más adversos que puedan afectar a las playas.

Los pasos para seguir un enfoque holístico serían:

- › Identificar la condición de la playa.
- › Identificar la causa de este comportamiento.
- › Elegir estrategias que solucionen el problema a partir del escenario local enfocado en el concepto de resiliencia.
- › Atacar el problema de erosión desde múltiples puntos de vista y a distintas escalas de análisis y acción (Caja 3).

Como país, necesitamos apoyar este enfoque holístico con un esfuerzo que considere todos los sistemas de playas y oleajes que tenemos. Tenemos que fomentar la preparación de órdenes ejecutivas, proyectos de

Caja 3. Enfoque necesarios para combatir y manejar la erosión costera. Requiere de la colaboración entre todos los sectores incluyendo el federal, insular, municipal, privado y comunidades

- Determinar las tasas de erosión costeras presentes y proyectar las futuras a nivel insular.
- Hacer estudios puntuales de erosión costera al momento de tomar acciones específicas.
- Manejar los sedimentos a niveles regionales y locales.
- Desarrollar y adoptar standards de compatibilidad de sedimentos.
- Identificar mecanismos de financiación sustentables para lidiar con los problemas de erosión.
- Integrar mecanismos de mantenimiento a los proyectos de manejo de erosión e infraestructura.
- Fortalecer la colaboración entre las organizaciones con aportaciones significativas en asuntos relacionados al manejo de la costa incluyendo la Universidad de Puerto Rico, el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América, El Servicio Geológico de los Estados Unidos de América, la Administración Nacional de los Océanos y la Atmósfera, y la Asociación Americana para la Preservación de la Playa y el Litoral.
- Modificar regulaciones, códigos de construcción y enfoques tradicionales de ingeniería para lidiar con los problemas costaneros.
- Desarrollar guías sobre las mejores prácticas de ingeniería costanera.

ley, ordenanzas municipales y otras directivas bajo el principio de costas resilientes y el escenario de cambio climático. Tal esfuerzo debe insertar activamente

Tabla 4. Costos de construcción o de mantenimiento significativo de rompeolas en los trópicos. Los proyectos con un largo de un metro reflejan que el reporte original reportó el costo por metro lineal solamente.

Sitio	Largo (m)	Año	Costo Original (\$)	Costo en 2012 (\$)	Costo por Metro Lineal (\$)
Sri Lanka	16,000	1994	13,400,000	20,759,511	1,297
Maldives	1	1997	10,000	14,305	14,305
Haleiwa, Hawaii	58	1975	150,000	640,132	11,037
Hilo, Hawaii	3,073	1946	1,500,000	17,661,077	5,747
Kalaupapa, Hawaii	35	1967	95,000	653,037	18,658
Kawaihae, Hawaii	808	1973	6,000,000	31,026,216	38,399
Manele, Hawaii	143	1965	742,850	5,414,410	37,863
Nawiliwi, Hawaii	152	1959	1,000,000	7,889,828	51,907
Pohoiki, Hawaii	27	1979	335,500	1,061,003	39,296
Auasi, American Samoa	206	1981	1,166,300	2,945,825	14,300
Anuu, American Samoa	27	1981	2,018,400	5,098,048	188,817
Tau, American Samoa	88	1981	2,020,400	5,103,099	57,990
Agana, Guam	221	1977	1,220,550	4,624,273	20,924
Sungai, Malaysia	1	2008	428	456	456
Korea	3,000	2010	124,000,000	130,561,214	43,520
Nakohon Si Thammarat, Thailand	40	2012	180,950	180,950	4,524

a las comunidades en los procesos de política pública costera (ciencia ciudadana).

TÁCTICAS PARA LIDIAR CON LAS PLAYAS, LA ZONA MARÍTIMO TERRESTRE Y EL MAR

La táctica menos costosa y efectiva es la zonificación de la zona costanera de acuerdo a las oportunidades y vulnerabilidades de sus distintos sectores. En Puerto Rico tenemos una larga tradición en el uso de la zonificación como herramienta principal para guiar el desarrollo sustentable de la economía. Lamentablemente el uso de esta herramienta no ha sido tan eficiente y efectiva como pudiese ser debido a la corrupción en la aplicación de los procesos.

Las restauraciones de sistemas no antropogénicos y estructuras afectadas por usos incorrectos de los terrenos es otra táctica disponible para el futuro. En este documento ilustramos cómo se pueden restaurar los arrecifes de coral (Apéndice 2) del país.

El diseño y construcción de estructuras que resistan inundaciones u olas de baja energía representan tácticas donde decidimos no alejarnos del mar. En muchas ciudades la infraestructura inundada por el mar se ha restaurado elevándola sobre los niveles del mar anticipados. Aunque costosas, estas estrategias ya se discuten y se ponen a prueba soluciones alternas a la retirada de la costa.

ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LAS PLAYAS

Actividades marinas son costosas debido a los efectos corrosivos del mar y los altos niveles de energía ante los cuales tienen que operar. Un ejemplo es el alto costo de la construcción y mantenimiento de rompeolas en el trópico (Tabla 4). Sin embargo, los costos de desarrollo y mantenimiento de arrecifes de coral artificiales son bajos en comparación (Tabla 5). Las estrategias de restauración de corales se

Tabla 5. Costo de proyectos de restauración de arrecifes de coral utilizando distintas técnicas de restauración.

Sitio	Año	Costo Original (\$/m ²)	Costo en 2012 (\$/m ²)	Costo por Metro Lineal (\$)
Maldives	1994	40	62	620
Maldives	1994	103	159	1,590
Maldives	1994	151	233	2,330
Maldives	1994	328	508	5,080
Florida	1991	550*	927	927
Florida	1994	10,000*	15,500	155,000
Indonesia	2005	5	6	60
Varios	2005	40	47	470
Varios	2005	70	82	820
Varios	2005	1.6-110	2-110	20-1,290

* Incluyeron estructuras en concreto.

ilustran con fotografías en el Apéndice 2 según se han utilizado en diversos lugares de Puerto Rico. Las lecciones aprendidas se resumen en la Caja 4.

La *Revista Ambiental Marejada* en su número 2 del volumen 16 del 2018 (disponible gratuitamente del Programa Sea Grant en el Recinto de Mayagüez de la Universidad de Puerto Rico) contiene artículos sobre la restauración de playas en Puerto Rico.

Caja 4. Lecciones aprendidas con la restauración de arrecifes de coral

- El cultivo de corales y la rehabilitación de arrecifes de coral se han convertido en herramientas de manejo con múltiples objetivos:
- ▶ Restauración poblacional de especies amenazadas.
 - ▶ Rehabilitación de las funciones ecológicas de la comunidad béntica arrecifal (hábitat esencial de peces, sumidero de CO₂, protección de la costa).
 - ▶ Reconstrucción paisajista (mosaico de habitats, turismo).
 - ▶ Rehabilitación de la comunidad de peces (biodiversidad).
 - ▶ Restauración de la redundancia funcional (corales – crecimiento del arrecife; peces – herbivoría).
 - ▶ Reestructuración de la condición trófica y productividad del arrecife (pesca).
 - ▶ Fomentar la integración y participación comunitaria en el manejo del recurso.
 - ▶ La conservación y rehabilitación de los arrecifes de coral es fundamental para la conservación de las playas.
 - ▶ El cultivo de corales y la rehabilitación de arrecifes de coral deben **integrarse** a las estrategias de protección de la costa.
 - ▶ Solo un **arrecife saludable y productivo** puede brindar una protección efectiva.

Las actividades de restauración no solo ayudan en la protección de la costa, sino que tienen efectos económicos multiplicadores en la sociedad (Fig. 45).

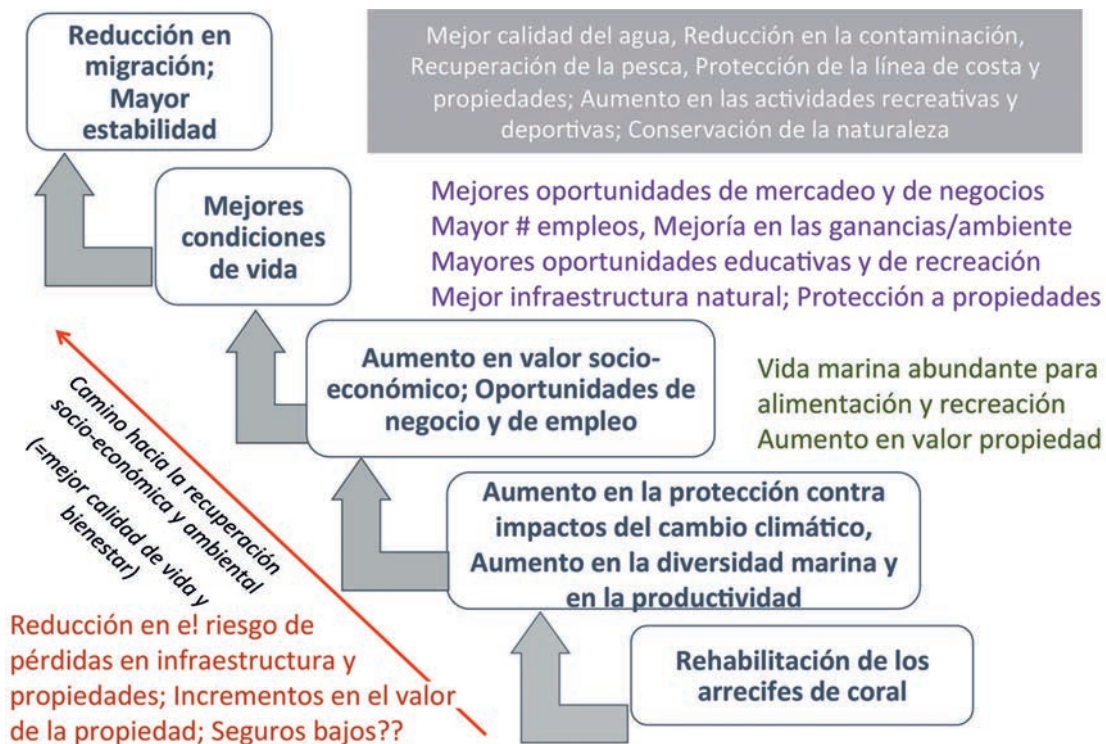


Figura 45. Cadena de eventos y consecuencias ambientales asociados a la restauración de arrecifes de coral.

AGRADECIMIENTOS

Esta publicación es producto de una colaboración de los autores con los residentes y oficiales de Palmas del Mar y la Universidad de Puerto Rico. Apreciamos especialmente la ayuda de la Dra. Sandra Gracia López y la Sra. Rita Molinelli Freytes.

REFERENCIAS

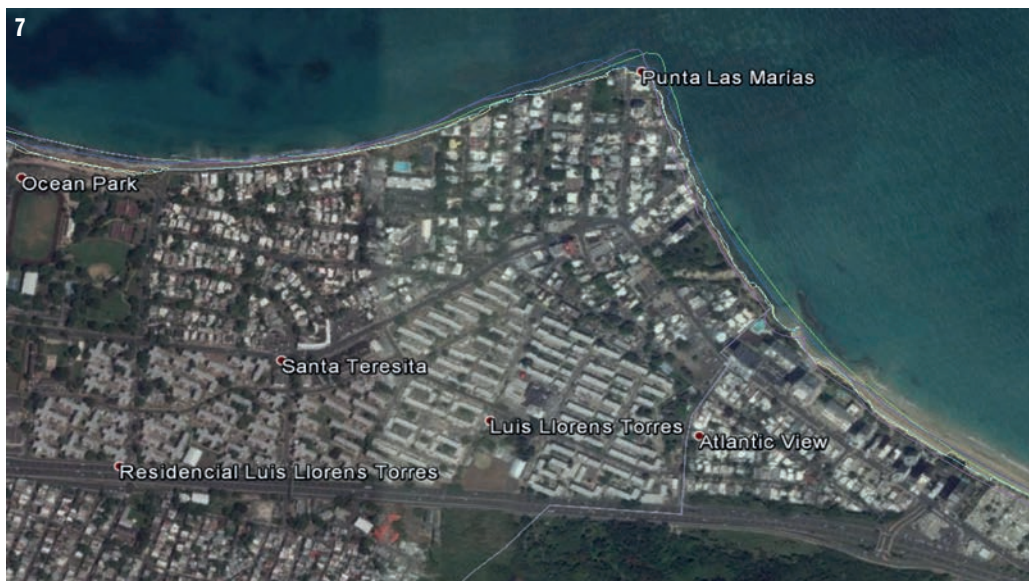
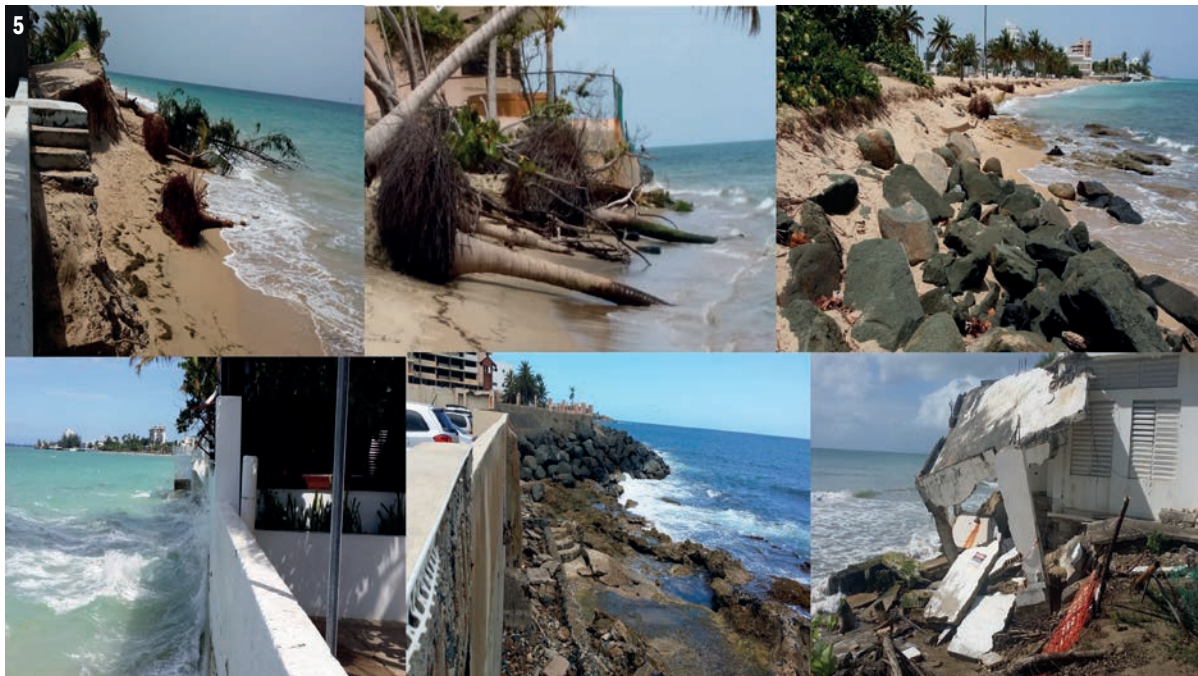
- Barnard, P. L., D. Hoover, D. M. Hubbard, A. Snyder, B. C. Ludka, J. Allan, G. M. Kaminsky, P. Ruggiero, T. W. Gallien, L. Gabel, D. McCandless, H. M. Weiner, N. Cohn, D. L. Anderson y K. A. Serafin. 2017. Extreme oceanographic forcing and coastal response due to the 2015-2016 El Niño. *Nature* DOI:10.1038/ncomms14365:8.
- Barreto Orta, M., R. Méndez Tejeda, E. Rodríguez, N. Cabrera, E. Díaz, and K. Pérez. 2019. State of the beaches in Puerto Rico after Hurricane Maria (2017). *Shore & Beach* 87:16-23.
- Brocard, G. Y., J. K. Willenbring, F. N. Scatena, and A. H. Johnson. 2015. Effects of tectonically-triggered wave of incision on riverine exports and soil mineralogy in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. *Applied Geochemistry* 63:586-598. DOI:10.1016/j.apgeochem.2015.04.001
- Ferrario, F., M. W. Beck, C. D. Storlazzi, F. Micheli, C. C. Shepard, and L. Airolidi. 2014. The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation. *Nature Communications* 5:Article number: 3794.
- Jackson Jr., C. W., D. W. Bush, and W. J. Neal. 2006. Gabions, a poor design for shore hardening: the Puerto Rico experience. *Journal of Coastal Research* SI 39:852-857
- Lugo, A. E., A. Ramos Álvarez, A. Mercado, D. L. L. Feliciano, G. Cintrón, L. Márquez D'Acunti, R. Chaparro, J. Fernández Porto, S. J. Peisch y J. Rivera Santana. 2004. Cartilla de la zona marítimo-terrestre. *Acta Científica* 18:1-148.
- Lugo, A. E., L. Miranda Castro, A. Vale, T. del M. López, E. Hernández Prieto, A. García Martínó, A. R. Puente Rolón, A. G. Tossas, D. A. McFarlane, T. Miller, A. Rodríguez, J. Lundberg, J. Thomlinson, J. Colón, J. H. Schellekens, O. Ramos y E. Helmer. 2001. Puerto Rican karst - A vital resource. US-DA Forest Service, General Technical Report WO-65, Washington, DC.
- McKee, K. L., D. R. Cahoon, y I. C. Feller. 2007. Caribbean mangroves adjust to rising sea level through biotic controls on change in soil elevation. *Global Ecology and Biogeography* 16:545-556.
- Mercado Irizarry, A. 2017. Sea level rise around Puerto Rico; a projection. University of Puerto Rico at Mayagüez, Mayagüez, PR.
- Nicholls, R. J. y A. Cazenave. 2010. Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science* 318:1517-1520.
- Stocking, J. B., J. P. Rippe, and M. A. Reidenbach. 2016. Structure and dynamics of turbulent boundary layer flow over healthy and algae-covered corals. *Coral Reefs* 35:1047-1059.
- Storlazzi, C. D., E. Elias, M. E. Field, and M. K. Presto. 2011. Numerical modeling of the impact of sea-level rise on fringing coral reef hydrodynamics and sediment transport. *Coral Reefs* 30 (Supplement 1):83-96.
- Storlazzi, C.D., E. Elias, M.E. Field et al. 2011. Numerical modeling of the impact of sea-level rise on fringing coral reef hydrodynamics and sediment transport. *Coral Reefs* 30(Suppl 1): 83. <https://doi.org/10.1007/s00338-011-0723-9>
- Yi, S., W. Sun, K. Heki, y A. Quian. 2015. An increase in the rate of global mean sea level rise since 2010. *Geophysical Research Letters* 42:3998-4006.

Apéndice 1

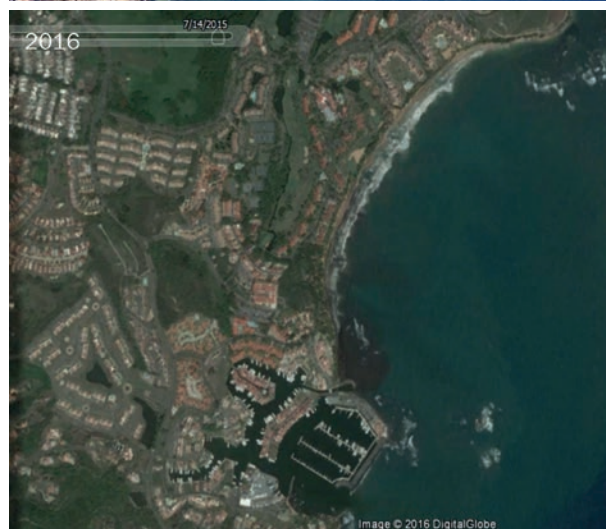
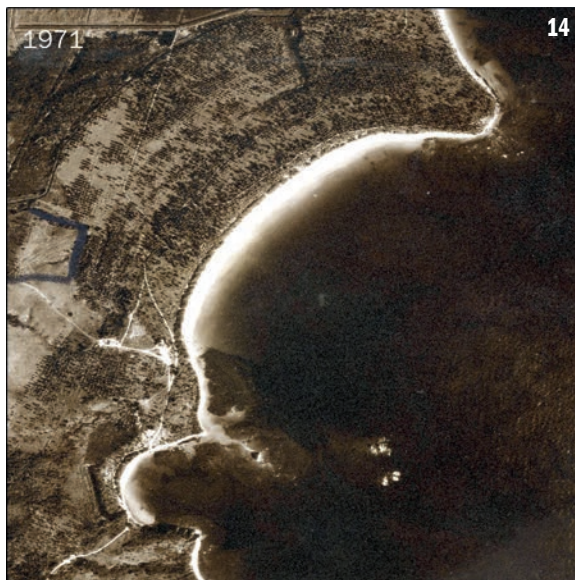
Fotos ilustrativas de la situación en Puerto Rico referente a la subida del nivel del mar y las estructuras e infraestructura vulnerable a los embates del mar. Utilizando el número de la diapositiva, se ilustran las siguientes situaciones. Arrecifes de coral antes y después del paso del huracán María (1). Varios ejemplos de como quedaron las estructuras y playas después del huracán y las marejadas (2-5). Entrada del mar sobre la playa y duna en la zona del último trolley en San Juan (6). La variación histórica de la orilla de la playa (líneas en colores) en Punta

las Marías, zona metropolitana de San Juan (7-9). Variación histórica de las playas en el Barrio Candeleiro, Palmas del Mar, Humacao (10-17). Las famosas playas de Rincón después de huracanes y marejadas (18-40). La ineffectividad de gaviones se ilustra en las fotos 30 y 31. La secuencia 32 a 35 ilustra un lugar específico donde el uso de maquinarias no pudo salvar la playa ni las estructuras. A pesar de todo, continua la construcción en estos lugares (40).

















Apéndice 2

Fotos ilustrativas de técnicas para la restauración de arrecifes de coral en Puerto Rico. El número de signos de dólares representa la magni-

tud del costo estimado con \$ representando el menor costo y \$\$\$\$ el mayor.

Estrategias de cultivo de corales - \$

Unidades de alambre revestido (Culebra-SAM)

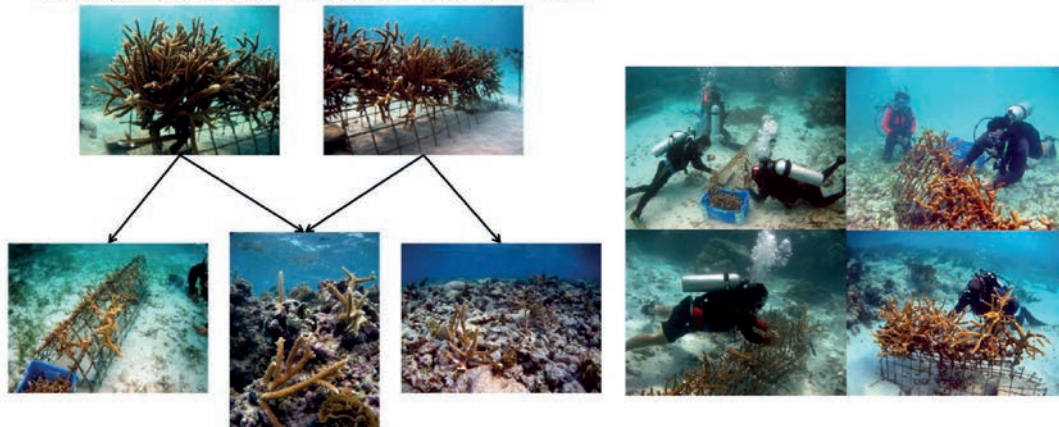


Unidades de "árboles"-NOAA



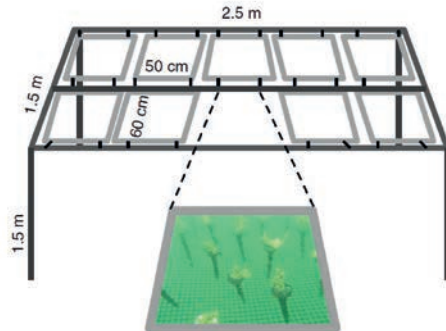
Estrategias de cultivo de corales - \$

Unidades de alambre "A-frames" (Culebra-SAM)



Estrategias de cultivo de corales - \$

Mesas y mallas (Bongiorni et al., 2011)



Cultivo de corales en clavos plásticos (Horoszowski-Fridman et al., 2015)



Estrategias de cultivo de corales - \$

Armazones de PVC



Estrategias de cultivo de corales - \$

Unidades de cuerdas



Estrategias de cultivo de corales - \$\$

Unidades de bloques de concreto (Florida)



Unidades de plataformas de concreto



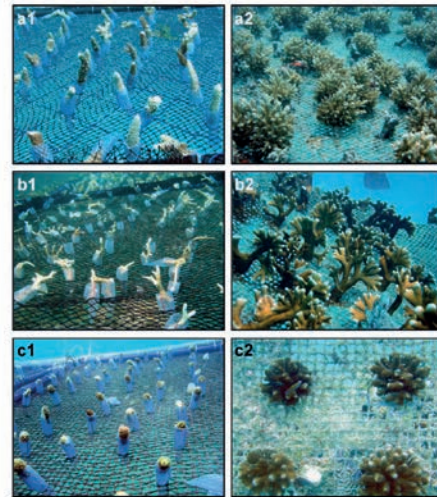
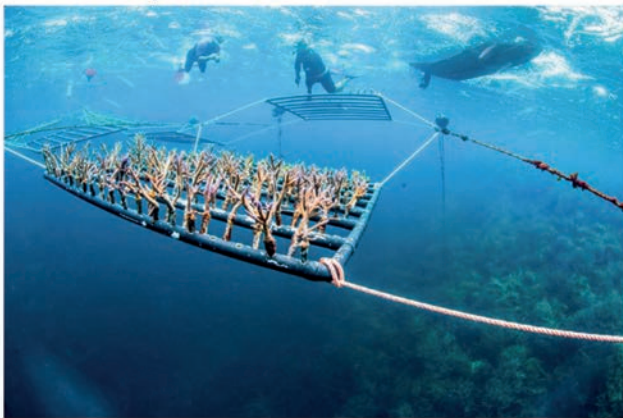
Estrategias de cultivo de corales - \$\$\$

Mesas de cultivo de corales – Indo-Pacífico



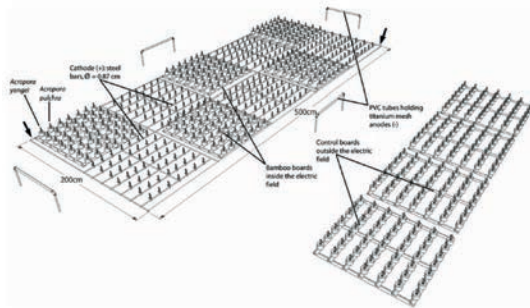
Estrategias de cultivo de corales - \$\$

Mesas y redes flotantes

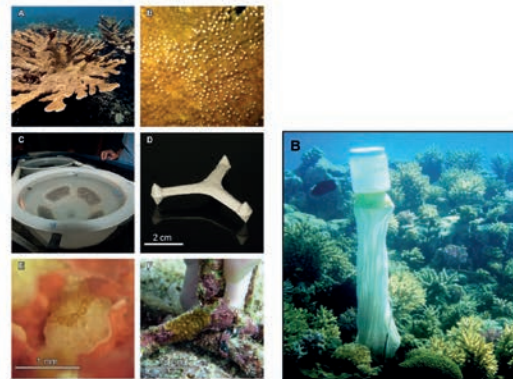


Estrategias de cultivo de corales - \$\$\$\$\$

Matriz de alambre de cátodo – campo eléctrico (Borell et al., 2010)

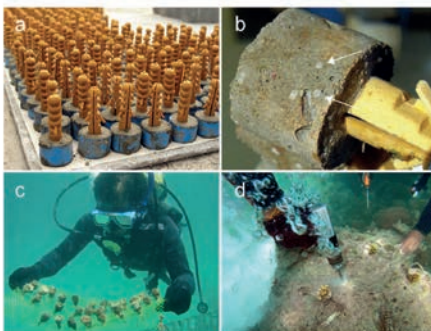


Coleccion de gametos, fecundación *in vitro* y cultivo de larvas (Chamberland et al., 2015)



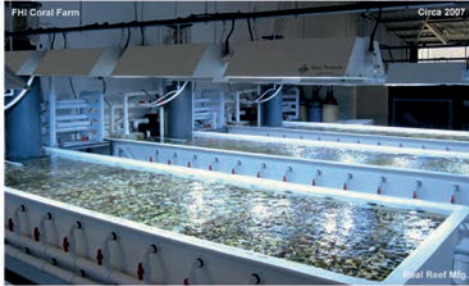
Estrategias de cultivo de corales - \$\$\$\$\$

Coleccion de gametos, fecundación y asentamiento de larvas *in vitro* y trasplantes (Guest et al., 2014)



Estrategias de cultivo de corales - \$\$\$\$\$

Cultivo *ex situ* de corales



Estrategias de restauracion de arrecifes- \$

Trasplantes directo al arrecife



Estrategias de restauracion de arrecifes- \$

Trasplantes directo al arrecife



Montículos de carricoche



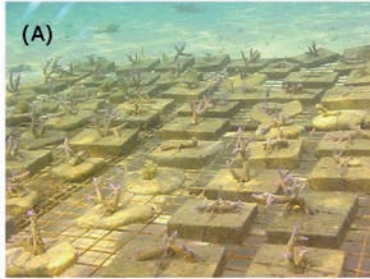
"Floreros" de concreto



Paneles de "galletas"

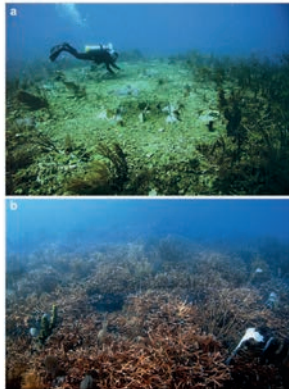
Estrategias de restauracion - \$\$

Crecimiento de corales en unidades modulares



Estrategias de restauracion - \$\$\$

Construcción de parches (Griffin et al., 2015)



Construcción de sustratos artificiales



Estrategias de restauracion - \$\$\$

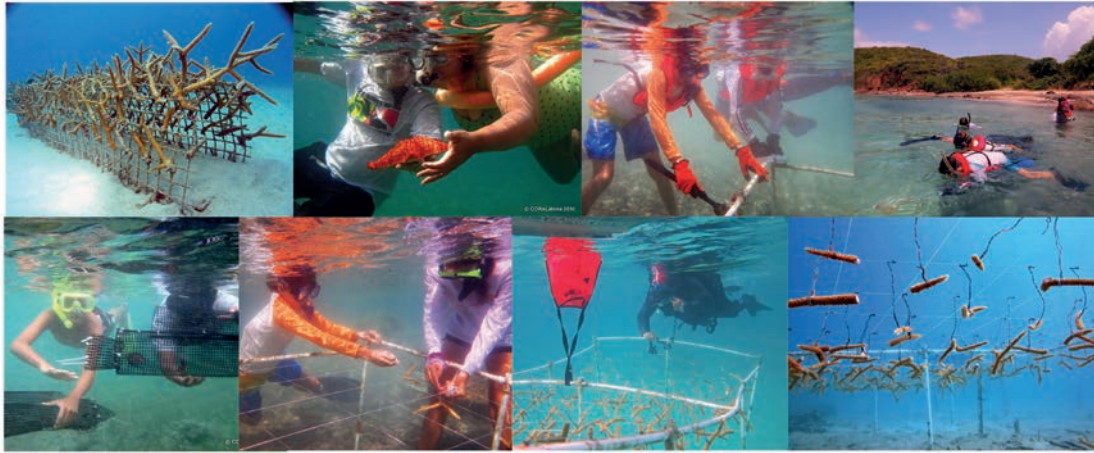
Sustratos artificiales de Armorflex (Clark & Edwards, 1995)



Sustratos artificiales rocosos (Fox & Pet, 2001)



Culebra – Programa Comunitario de Acuacultura de Corales y Rehabilitación de Arrecifes



SALVEMOS LAS PLAYAS

Sandra Gracia

Palmas del Mar Homeowners Association

Todavía no podemos decir con certeza si hay vida en otras galaxias. Ciertamente en la Tierra existen miles de especies y sabemos que hemos logrado vivir durante millones de años porque nos hemos adaptado a los cambios que nuestro planeta ha sufrido durante todo ese tiempo.

En este momento una de las preocupaciones más comunes es el calentamiento global que está provocando el derretimiento de los glaciares y el aumento del nivel del mar. Aunque todavía hay quien se resiste a creer en este hecho, todos los países del planeta están viendo el nivel del mar aumentar, la muerte y desplazamiento de animales de muchas especies que viven en temperaturas heladas (los osos polares son un ejemplo de esto) y el derrumbe lento de enormes glaciares que hace 20 años apenas comenzaban a mostrar cambios en su volumen. Han desaparecido islas pequeñas y se está planificando el desalojo de miles de personas que viven en islas y lugares amenazados y en España se publicó el día 13 de enero de este año un artículo titulado “El mar se traga 300 edificios en diez años en Francia” (http://internacional.elpais.com/internacional/2017/01/12/mundo_global/1484246104_380087.html). Aunque nuestra situación no es tan dramática, en Palmas del Mar hemos observado cómo cada año las olas se acercan a nuestras propiedades, especialmente aquellas que están de frente al mar. El Dr. Lugo nos mostró la aceleración del aumento en el nivel del mar durante los pasados 20 años y que se considera que estamos en la era del Antropoceno, lo cual significa que somos los humanos en gran parte responsables de la aceleración de los cambios que estamos experimentando en el Planeta. El Dr. Díaz nos enseñó foto-

grafías de satélite de nuestras costas, que demuestran que las playas han sufrido grandes cambios, aunque nosotros desde nuestros hogares no los veamos de la manera tan dramática como se ve desde miles de pies de altura.

En términos generales nuestras opciones son limitadas. Las mismas son básicamente tres:

- 1.abandonar las propiedades frente al mar y renunciar al disfrute único que proporciona el escuchar el relajante sonido de las olas y el observar el perfecto balance de peces, delfines y manatíes, aves y cientos de otras especies que no vemos a simple vista tal como nos enseñó el Dr. González,
- 2.crear paredes para proteger nuestras propiedades o,
- 3.adaptarnos al cambio que estamos viendo de la manera en que la ciencia ha estudiado y que otros países están utilizando para disminuir la energía que nos alcanza de las olas y los efectos de las mareas.

De la misma manera en que los seres humanos nos hemos adaptado a muchos otros factores a través de millones de años, la tercera opción es la más adecuada ya que nos permitirá continuar disfrutando de este recurso natural que rodea nuestra Isla y que tantos vienen buscando cada año. La segunda opción se ha intentado en muchos lugares y tanto el Sr. Chaparro como el Dr. Canals nos enseñaron el pasado fin de semana la futilidad de las mismas y las cuantiosas pérdidas de dinero en que esto ha resultado y la Dra. Santos nos demostró la desesperanza que han sufrido muchos puertorriqueños al experimentar nuestra

impotencia al tratar de controlar la naturaleza. Más aún, cuando las paredes fallan, las playas se tornan inservibles por el desparrame por toda la costa de las piedras, cemento y metal utilizados para construirlas. Después de todo, como nos enseñó el Dr. Molinelli de manera tan amena, este planeta ha sufrido miles de cambios durante millones de años y si entendemos esto, aceptaremos que la mejor opción es la tercera, tal como hemos hecho los humanos en el pasado.

Sin embargo, la Dra. Barreto nos mostró datos importantes tales como el que las 1,225 playas de Puerto Rico son distintas porque nuestras costas son indentadas y tienen distintos tipos de arena y orientación al mar. Es por eso que las corrientes, mareas y olas tienen efectos distintos en cada una de acuerdo a la manera en que la energía de las olas y corrientes inciden en las playas. Esto hace necesario saber las diferencias entre nuestras playas para tomar las decisiones más acertadas para mitigar el efecto de la energía del mar en las mismas.

El asunto es más complejo de lo que parece ya que de la manera y en la medida en que se están utilizando nuestros recursos no parece haber mucho control en la cantidad de personas que pueden estar en un mismo lugar en un momento dado, lo cual afecta la composición del agua del mar al tener un aumento en la concentración de líquidos corporales al no tener facilidades sanitarias para uso humano en el lugar. Esto quedó diáfano demostrado con la fotografía que nos enseñó el Sr. Chaparro de cientos de embarcaciones rodeadas de miles de personas en un lugar en la Parguera disfrutando del día, conversando y tomando cerveza... El humor nos ayuda a manejar esta información porque de lo contrario habría aún más personas con problemas de depresión en Puerto Rico.

En adición está claro que las condiciones cambian durante el año y que las medidas de mitigación que tomemos para proteger nuestras costas, nuestras propiedades y nuestras vidas, van a depender del lugar donde estemos. El Dr. Canals nos enseñó fotografías de olas de sobre 40 pies de altura, que son de gran va-

lor para la economía de la parte noroeste de nuestra isla y donde se celebran competencias mundiales de "surfing". De poder tomar alguna medida para mitigar el efecto que esas olas tienen en las costas de Rincon donde una de las playas se llama Tres Palmas, no hay duda de que las mismas serán muy distintas a las que podamos tomar en Palmas del Mar.

Entonces, el Dr. Edwin Hernández nos enseñó que hay luz al final de este camino. Podemos tomar medidas tales como la siembra de corales para revitalizar nuestros arrecifes naturales, mediante el estudio detallado de los tipos de corales que resisten nuestras condiciones específicas y luego la siembra planificada con los métodos que se están utilizando y que han probado ser efectivos. Y lo mejor de todo es que podemos ver crecimiento en seis meses ya que algunos corales exhiben un crecimiento más rápido que otros.

En Palmas del Mar se han hecho estudios durante décadas, sabemos sobre nuestras mareas, corrientes, cambios en las playas y barreras naturales. Sabemos que los fenómenos naturales tales como el sargaso han protegido nuestras playas aunque en ocasiones no nos guste su olor y sabemos también de los errores que hemos cometido en el pasado. Aprendimos que sí podemos tomar acción de una manera informada y trabajando organizadamente como la comunidad que somos y utilizando el conocimiento que las distintas ramas de la ciencia han estudiado. Es tiempo ya de que tomemos el control de las medidas de mitigación que pueden ayudarnos a conservar nuestro mejor recurso y el cual nos ha dado muchos años de recreación, salud y bienestar económico. Nuestros vecinos necesitan que los ayudemos también con este proceso, seamos generosos con las bendiciones de las cuales hemos gozado durante tantos años.

Salvemos nuestras playas.

CAMBIO CLIMÁTICO: EFECTO EN LOS COQUÍES DE PUERTO RICO

Reinaldo Plaza

Departamento de Geografía Ambiental
Universidad de Puerto Rico, Río Piedras
reyplaz@yahoo.com; reinaldo.plaza@upr.edu

Resumen

La información sobre el cambio climático es suficiente para tomar medidas de forma inmediata. Se predice la extinción de animales y plantas, ya que los hábitats cambiarán tan rápido que muchas especies no se podrán adaptar a tiempo. La Organización Mundial de la Salud ha advertido que la salud de millones de personas podría verse amenazada por el aumento de la desnutrición y enfermedades transmitidas por el agua. Hay que establecer una relación entre estas enfermedades y la posible extinción de anfibios de los ecosistemas de la Isla. En 2016, el Gobierno de Puerto Rico planificó asperjar con la sustancia química conocida como Naled para combatir al mosquito *Aedes aegypti*, transmisor del virus del zika. El insecticida Naled causa la muerte de muchos otros organismos, incluyendo controles naturales del *Aedes aegypti* como son las ranas. El efecto de perder estas especies sería severo para el ecosistema en Puerto Rico. Los coquíes se han movido montaña arriba para acoplarse al cambio en temperatura y humedad. En estas altitudes se han encontrado con otro organismo que amenaza su supervivencia, el hongo Bd (*Batrachochytrium dendrobatidis*). Estas circunstancias evidencian la vulnerabilidad de los anfibios pues son sensibles a sustancias tóxicas y contaminación, así como a las variaciones ambientales. Entonces, se hace necesario establecer si las especies de coquíes pueden ser susceptibles en mayor grado al cambio climático en comparación con otros anfibios, y la carencia de una etapa acuática en el proceso de su desarrollo puede ser un factor determinante por el riesgo de los huevos a disecarse.

Abstract

The information on climate change is enough to take immediate action. The extinction of animals and plants is predicted, since the habitats will change so fast that many species will not be able to adapt in time. The World Health Organization has warned that the health of millions of people could be threatened by increased malnutrition and waterborne diseases. It is necessary to establish a relationship between these diseases and the possible extinction of amphibians from the island's ecosystems. In 2016, the Government of Puerto Rico planned to spray the chemical known as Naled to combat the *Aedes aegypti* mosquito, transmitter of the Zika virus. The Naled insecticide causes the death of many other organisms, including natural controls of *Aedes aegypti* such as frogs. The effect of losing these species could be severe for the ecosystem in Puerto Rico. Coqui frogs have moved up the mountain to adapt to the change in temperature and humidity. At these heights they have found another organism that seriously threatens their survival, the Bd fungus (*Batrachochytrium dendrobatidis*). These circumstances show the vulnerability of amphibians because they are sensitive to toxic substances and pollution, as well as to environmental variations. So, it is necessary to establish if coqui species may be more susceptible to climate change compared to other amphibians, and the lack of an aquatic stage in their development process may be a determining factor due to the risk of the eggs to be dissected.



Figura 1. Mapa de tendencia a sequía en Puerto Rico para julio de 2015. Durante décadas, los periodos extensos de sequía han afectado negativamente a las poblaciones de anfibios en la Isla.
Fuente: <http://www.miprv.com/la-sequia-se-esta-experimentando-practicamente-en-todo-el-pais/>

AUMENTO EN LA TEMPERATURA DEL PLANETA

Se llama cambio climático a la variación global del clima de la Tierra. Es debido a causas naturales y también a la acción del ser humano y se producen a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, etc. El término “efecto de invernadero” se refiere a la retención del calor del Sol en la atmósfera de la Tierra por parte de una capa de gases en la atmósfera. Sin ellos la vida tal como la conocemos no sería posible, ya que el planeta sería demasiado frío. Entre estos gases se encuentran el dióxido de carbono, el óxido nitroso y el metano, que son liberados por la industria, la agricultura y la quema de combustibles fósiles. El mundo industrializado ha conseguido que la concentración de estos gases haya aumentado un 30 por ciento desde el siglo pasado, cuando sin la acción humana, la naturaleza se encargaba de equilibrar las emisiones (IPCC 2014).

En la actualidad existe un consenso científico generalizado en torno a la idea de que nuestro modo

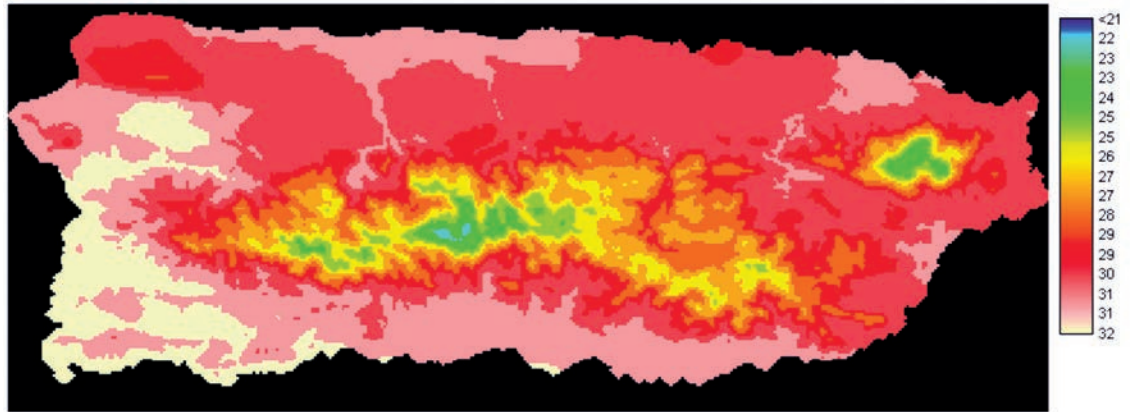
de producción y consumo energético está generando una alteración climática global. La que provocará, a su vez, serios efectos tanto sobre la tierra como en los sistemas socioeconómicos. En definitiva, el cambio climático no es un fenómeno sólo ambiental sino de profundas consecuencias económicas y sociales. Los países más pobres, que están peor preparados para enfrentar cambios rápidos, serán los que sufrirán las peores consecuencias.

La Organización Mundial de la Salud ha advertido que la salud de millones de personas podría verse amenazada por el aumento de la desnutrición y enfermedades transmitidas por el agua (IPCC 2014).

El ser humano ajeno a su realidad

Hay que establecer una relación entre estas enfermedades y la posible extinción de anfibios de los ecosistemas de la Isla. Es evidente que el Gobierno de Puerto Rico evade los factores ecológicos que nos identifican como parte de la vida del planeta. Insisten en ver al ser humano como un ente separado y superior, capaz de vencer el medio ambiente. La naturaleza tiene un orden para cuando una especie se reproduce por encima de los niveles normales. Sus depredadores también incrementan en número como un proceso para controlar y restablecer el balance entre las poblaciones. Sin embargo, las acciones de los gobiernos y de las multinacionales subestiman la ecología en la toma de decisiones trascendentales. Tratan de mantenernos al margen de las acciones que están causando acontecimientos como

Figura 2. Mapa de temperatura máxima anual, en las montañas apenas alcanza los 25°C. En la medida en que las temperaturas bajan de 25°C, el hongo está en su temperatura óptima. Fuente: <https://www.uprm.edu/biology/profs/chinea/ecolplt/ecogeopr08.pdf>



el cambio climático y sus efectos sobre la vida en el planeta. Los catalogan como fenómenos naturales adversos al ser humano, incluso son declarados epidemia cuando su origen es biológico.

En el mes de junio de 2016, el Gobierno de Puerto Rico planificó asperjar con la sustancia química conocida como Naled, para combatir al mosquito *Aedes aegypti*, transmisor del virus del zika. Entonces, surgieron voces desde la comunidad científica manifestándose contra ese método, pues perjudicaría tanto la salud humana como a las diversas especies de vida silvestre. Este insecticida actúa sobre el sistema nervioso de los insectos, dañando la colinesterasa. Los humanos tienen esta enzima, así que no tenemos garantía de sus efectos crónicos y cómo nos afectaría a largo plazo. Además, a corto plazo podría afectar a niños, embarazadas y personas con sistema inmune comprometido (Elnuevodia.com, 30 de junio de 2016). El insecticida Naled causa la muerte de muchos otros organismos, incluyendo controles naturales del *Aedes aegypti* (Pimentel et. al. 1999). La etiqueta de este producto indica que es altamente tóxico para la vida acuática y su efecto es a corto y largo plazo. Muchos depredadores de los mosquitos en su estado inmaduro y adulto son susceptibles a este compuesto químico. También al diclorvos, compuesto que resulta de su degradación. La etiqueta indica que es nocivo contra las abejas

por lo que su uso puede afectar grandemente la apicultura puertorriqueña y nuestra agricultura en general (Elnuevodia.com, 30 de junio de 2016).

SIMBIOSIS EN LA NATURALEZA

El rol de los anfibios en un ecosistema

La zoóloga Margarita Lampo explica que los anfibios son uno de los grupos más diversos y numerosos que existen dentro de la trama trófica (alimenticia). “Representan una de las mayores biomásas que existen en los ecosistemas, tanto como depredadores que son, a la vez que son depredados por otros grupos. De ahí su rol muy importante en los ecosistemas, porque al quitar esta importante biomasa estás afectando a ambos grupos de la cadena trófica con consecuencias que aún no se pueden predecir” (Lampo 2006). El efecto de perder estas especies sería severo para el ecosistema. “Si desaparecen, estamos removiendo una pieza bien importante en las redes alimentarias en el Caribe y Puerto Rico. No tenemos animales nocturnos que coman insectos dentro de la noche. Entre otras cosas, va haber mayor dengue porque no hay quién te coma los mosquitos” explicó Rafael Joglar (Quintero 2013).

Los gases de efecto invernadero se producen de manera natural y son esenciales para la supervivencia de los seres humanos y de millones de otros seres

vivos ya que, al impedir que parte del calor del sol se propague hacia el espacio, hacen la Tierra habitable. Un siglo y medio de industrialización, junto con la tala de árboles y la utilización de ciertos métodos de cultivo, han incrementado las cantidades de gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera. A medida que la población humana, las economías y el nivel de vida crecen, también lo hace el nivel acumulado de emisiones de ese tipo de gases. Aunque existen incertidumbres que no permiten cuantificar con la suficiente precisión los cambios del clima previstos, la información validada hasta ahora es bastante para tomar medidas de forma inmediata. Se predice la extinción de animales y plantas, ya que los hábitats cambiarán tan rápido que muchas especies no se podrán adaptar a tiempo (IPCC 2014).

DETERIORO DE RANAS Y ANUROS

Fenómenos adversos a las especies en varios lugares

En el Caribe, la disminución del coquí puertorriqueño *Eleutherodactylus coqui* en el rango de la Sierra de Luquillo, entre 1983 y 1989, fue vinculada con un incremento en el número de periodos secos extensos; consistentes en más de cinco días con menos de 3 mm de lluvia (Stewart 1995). Luego, Burrowes et. al. 2004) analizaron la data del clima por los últimos 30 años del Siglo XX. Mostraron que las poblaciones de ocho diferentes especies de *Eleutherodactylus* y la desaparición de tres especies (*E. karlschmidti*, *E. jasperi*, y *E. enidae*), de hábitat forestado montañoso en Puerto Rico, estaba relacionada con años significativamente secos en los tempranos 1970s y 1990s. Ese estudio también mostró una extensión marcada de la temporada seca y un gran número de periodos secos para los años en los cuales fueron observadas las disminuciones en los coquíes de Puerto Rico (Burrowes et. al. 2004).

De otra parte, un estudio publicado recientemente encontró que los coquíes están reduciendo su tamaño



Figura 3. *Eleutherodactylus coqui*, el macho cuida los huevos hasta que nacen sus crías.

Fuente: <http://www.miprv.com/el-coqui-comun-eleutherodactylus-coqui/>

y la frecuencia de ambas notas de su canción. Varios estudios previos determinaron que la temperatura cálida tiene una relación negativa con el tamaño, lo que revela porqué los coquíes en los llanos son más pequeños que en las montañas. En el análisis, los científicos compararon el tamaño y las características de cantar del coquí común a lo largo de un rango de elevación en El Yunque. Los investigadores verificaron los datos colectados en el 2006 con datos similares colectados entre 1983 y 1984. El estudio también observó los patrones del clima y encontraron que la temperatura promedio ha aumentado 0.37 °C (0.34–0.41 °C), un incremento que explica la reducción en el tamaño de los coquíes en la misma elevación (Narins y Meenderink 2014). Los investigadores concluyen que este cambio puede tener efectos importantes en el ecosistema porque los anfibios son un componente importante de la red alimenticia. Como se ha mencionado, si se reduce su tamaño, se achica la biomasa que la especie representa y disminuye la energía disponible para sus depredadores. De la misma manera se reducirá el efecto que tienen en los invertebrados de los que se alimentan (Lampo 2006).

Por el aumento en los niveles de calor, al igual que se ha documentado en otras especies, los coquíes se han movido montaña arriba para acoplarse al cambio buscando temperaturas más bajas y humedad más al-

ta. En estas altitudes han encontrado otro organismo que amenaza seriamente su supervivencia, el hongo Bd (*Batrachochytrium dendrobatidis*), causante de la enfermedad cutánea conocida como quitridiomycosis (Lampo 2006). Cuando la temperatura aumenta por encima de los 25°C, al hongo le cuesta trabajo crecer y probablemente muera, lo cual ayuda a los anfibios a combatir la infección por el hongo. Se cree que en la medida en que esas temperaturas mínimas disminuyen y no suben por encima de los 25°C, entonces el hongo está en su temperatura óptima, haciéndole más difícil a los anfibios combatir la infección (Lampo 2006). En zonas de la Cordillera, donde se han visto obligados a migrar, la temperatura promedio es de 22.3°C.

La evidencia recopilada parece indicar que el hongo es originario de África donde ha estado presente en especies con poco efecto, siendo posiblemente, la especie de rana *Xenopus laevis*, el primer vehículo del patógeno fuera de este continente. Esta especie fue utilizada para desarrollar las pruebas de embarazos en los años 30, las cuales se exportaron a una gran cantidad de países. Se cree que hay otras especies que pudieron contribuir con la expansión del patógeno como la rana toro. Esta especie es autóctona de Estados Unidos y utilizada como fuente de proteína en muchos países (Lampo 2006). La rana toro también está presente en Puerto Rico.

La disponibilidad de agua ha sido considerada más importante aún que la temperatura en determinar la distribución de anfibios alrededor del globo (Dwellman 1999; Araujo *et. al.* 2006). Carey y Alexander (2003) discutieron la importancia de la disponibilidad de agua para la biología reproductiva de los anfibios y para la estabilidad del tamaño de las poblaciones. La alteración de los patrones de lluvia que resultan en años secos pueden (1) aumentar la vulnerabilidad a disecarse de huevos terrestres, larvas y juveniles en metamorfosis; (2) reducir el tamaño de las charcas, por tanto alterar los mecanismos densidad – dependiente como el tamaño en la metamorfosis y las

interacciones predador – presa; (3) aumentar la concentración de contaminantes en cuerpos de agua y (4) afectar la habilidad de los adultos de conservar agua (Carey y Alexander 2003).

La extensión de la temporada seca en ambientes tropicales es otro aspecto del cambio climático que ha sido asociado a la disminución de anfibios (Donnelly y Crump 1998). Algunos ejemplos son la extinción de *Bufo perigleneses* en Costa Rica (Crump *et. al.* 1992) y la merma en anuros de desarrollo directo en la alta montaña de Puerto Rico (Stewart 1995, Burrowes *et. al.* 2004). Las reducciones en las especies de anuros de tierras bajas en Costa Rica fueron además correlacionadas con la extensión de la temporada de sequía durante los 1980s (Donnelly y Crump 1998). Aunque las 17 especies de coquíes de Puerto Rico carecen de la fase de renacuajo acuático, otros anfibios endémicos como el Sapo Concho (*Peltophryne lemur*) y la Ranita de Labio Blanco (*Leptodactylus albilabris*) sí atraviesan por esta metamorfosis. Los anfibios son un grupo de alta sensibilidad al cambio climático global debido a la permeabilidad de su piel y a su ciclo de vida complejo. Este combina una fase acuática como larva y una fase terrestre como juvenil y adulto en la mayoría de los anfibios. Por eso al haber sequía o cambios en la temperatura, los animales se estresan porque les cuesta más trabajo mantener el agua (Lampo 2006). De hecho, son utilizados para monitorear la calidad del agua, pues al vivir en ella tienen una piel muy permeable, sensible a los tóxicos y a la contaminación por lo que han sido usados como indicadores ambientales.

EDUCACIÓN A TRAVÉS DE LA INVESTIGACIÓN

Análisis de estudios y trabajos previos

Desde la década de 1970, ha habido grandes esfuerzos por estudiar las diversas especies de vida silvestre en Puerto Rico. Se rescataron documentos

como los trabajos sobre la flora nativa de Agustín Stahl. También los científicos y catedráticos de las universidades del País han dedicado años de exploración en nuestros bosques y ecosistemas. Gracias a sus iniciativas de documentar y publicar trabajos sobre nuestra biodiversidad, hoy tenemos el privilegio de ampliar conocimientos. En este escrito he utilizado como referentes el trabajo de destacados herpetólogos. El libro precursor del fenecido Dr. Juan A. Rivero, titulado *Anfibios y Reptiles de Puerto Rico*, tal vez es el texto más detallado en cuanto a herpetología. En época reciente, las publicaciones de los doctores Rafael Joglar, Patricia Burrowes y otros expertos, han beneficiado a la nueva generación. Sus trabajos sirven de guía para muchos estudiantes que estamos interesados en las disciplinas ecologistas, conservacionistas y ambientalistas. En este caso particular, se busca establecer si las especies de coquíes pueden ser susceptibles en menor o mayor grado al cambio climático, en comparación con otros anfibios, pues carecen de una etapa acuática en el proceso de su desarrollo.

Evidente la vulnerabilidad de los coquíes

Los *Eleutherodactylus* no pasan por el estado de renacuajo. A diferencia de como ocurre en la mayoría de las ranas, la fecundación en las especies de coquíes es interna. Al salir al exterior, los huevos del coquí ya están fecundados. Los huevos son puestos en lugares húmedos y, con una excepción, las ranitas son como una pequeña copia del adulto cuando emergen del huevo (Rivero 1998, Joglar 1998). Mientras en los lugares bajos casi todas las especies son arbóreas, en los bosques elevados la mayoría es terrestre o semi-terrestre, como si encontraran de la capa de hojarasca del suelo mayor cantidad de comida o la mejor protección. Posiblemente, las varias especies puedan ser diferenciadas más fácilmente si el género se divide en formas de la bajura y formas de la montaña (Rivero 1998).

Debe entenderse, sin embargo, que casi todas las especies de la bajura se extienden hasta elevaciones considerables en la montaña, mientras que lo contrario rara vez es cierto (Rivero 1998). Se han podido establecer varios hallazgos mediante investigaciones sobre los factores climáticos. La sequía afecta el comportamiento y patrones de actividad de *Eleutherodactylus coqui*. Tres días sin lluvia puede matar juveniles, y los machos adultos dejan de cantar y permanecen en sus lugares de refugio luego de cinco días sin agua (Pough et. al. 1983; Stewart 1995). Esta conducta puede llevar al descenso de la población por actividad reproductiva reducida y adición limitada de juveniles.

En consecuencia, durante periodos de sequía extensos, los anfibios pueden sufrir bajas drásticas de población al estar incapacitados de encontrar sitios húmedos para rehidratarse. Su habilidad para responder rápidamente a la disponibilidad de agua, entonces representa una presión selectiva que puede llevar a diferentes formas de disminución de anfibios a través de zonas geográficas y en grupos taxonómicos (Pough et. al. 1983, Stewart 1995). Los anfibios terrestres experimentan un riesgo mayor de disecación por su alto grado de pérdida de agua a través de la piel y el sistema respiratorio, y por sus niveles de concentración de orina (Shoemaker et. al. 1992). Siendo así, las especies de coquíes pueden ser susceptibles en mayor grado al cambio climático en comparación con otros anfibios, y la carencia de una etapa acuática en el proceso de su desarrollo puede ser un factor determinante por la vulnerabilidad de los huevos a disecarse. Los embriones dependen de un coquí macho parental para desarrollarse, que está a cargo de mantener la camada de huevos húmeda (Joglar 1998). Esa humedad que rocía proviene de fluidos corporales del propio coquí adulto que, cuando sufre un periodo prolongado de sequía, necesita preservar esos líquidos en su sistema para seguir con vida (Rivero 1998). Es una debilidad presente en estas especies terrestres, frente a los anfibios que habitan en entornos acuáticos y pasan por etapa de renacuajo. Sin embargo, la posibilidad de su-

pervivencia de cualquier grupo anfibio radica en los patrones de lluvia, los cuales se han vuelto inestables como consecuencia del cambio climático.

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi agradecimiento a varios profesores de la Universidad de Puerto Rico. En el Recinto de Río Piedras, al Dr. Amílcar Vélez por su motivación para que escribiese este ensayo, y al Dr. Jorge Ortiz por sugerirme contactar a los editores. Igualmente, la gentileza del Dr. Carlos Santos, profesor del Recinto Universitario de Mayagüez.

REFERENCIAS

- Barker, B.S., and A. Rios-Franceschi. 2014. Population declines of mountain coqui (*Eleutherodactylus portoricensis*) in the cordillera central of Puerto Rico. *Herpetological Conservation and Biology* 9:578–589.
- Beuchat, C. A., F. H. Pough, and M.M. Stewart. 1984. Response to simultaneous dehydration and thermal stress in three species of Puerto Rican frogs. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology* 154:579–585.
- Burrowes, P.A., R.L. Joglar, and D.E. Green. 2004. Potential causes of amphibian declines in Puerto Rico. *Herpetologica* 60(2):141–154.
- Burrowes, P.A. 2009. Climate change and amphibian declines. Pages. 3268–3287. In H. Heatwole and J.W. Wilkinson (Eds.). *Amphibian biology Vol 8: Amphibian decline: diseases, parasites, maladies and pollution*. Surrey Beatty and Sons Publishers. Australia.
- Catenazzi A., E. Lehr, and V.T. Vredenburg. 2014. Thermal physiology, disease, and amphibian declines on the eastern slopes of the Andes. *Conservation Biology* 28:509–517.
- Carey, C. and M.A. Alexander. 2003. Climate change and amphibian declines: Is there a link? *Diversity and Distributions* 9:111–121.
- Donnelly, M. and M. Crump. 1998. Potencial effects of climate change on two neotropical amphibian assemblages. *Climate Change* 39:541–561.
- Hedges, S.B., W.E. Duellman, and M.P. Heinicke. 2008. New world direct developing frogs (Anura: Terrana): molecular phylogeny, classification, biogeography, and conservation. *Zootaxa* 1737:1–182.
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Cambio climático 2014: Informe de síntesis. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM_es.pdf
- Joglar, R.L. 1998. Los coquíes de Puerto Rico: Su historia natural y conservación. Editorial de la Universidad de Puerto Rico. San Juan, Puerto Rico.
- Lampo, M., C. Barrio-Amorós, and B. Han. 2006. *Batrachochytrium dendrobatidis* infections in the recently rediscovered *Atelopus mucubajensis* (Anura, Bufonidae) a critically endangered frog from the Venezuelan Andes. *EcoHealth* DOI: 10.1007/s10393-006-0068-y
- Longo, A.V., P.A. Burrowes, and R.L. Joglar. 2010. Seasonality of *Batrachochytrium dendrobatidis* infection in direct-developing frogs suggests a mechanism for persistence. *Diseases of Aquatic Organisms* 92:253–260.
- Narins, P.M. and S.W.F. Meenderink. 2014. Climate change and frog calls: long-term correlations along a tropical altitudinal gradient. *Proceedings of the Royal Society B* 281:20140401. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2014.0401>
- Perfecto, I. and J. Vandermeer. 2015. Coffee agroecology: A new approach to understanding agricultural biodiversity, ecosystem services, and sustainable development. Routledge, USA.
- Pimentel, D., O. Baley, P. Kim, E. Mullaney, E. J. Calabrese, L. Walman, F. Nelson, and X. Yao. 1999. Will limits of the Earth's resources control human numbers? Cornell University. Ithaca, New York. <http://www.oswego.edu/~saraydar/331posts/Pimentel%20et%20al.pdf>
- Quintero, L.M. 2013. Coquíes en riesgo de extinción a causa del cambio climático. *Noticel.com*. <http://www.noticel.com/ahora/coques-en-riesgo-de-extincin-a-causa-del-cambio-climtico/608404479>
- Redacción Elnuevodia.com (30 de junio de 2016). Gobernador de Puerto Rico: Detenga el plan de fumigación aérea ahora. *Elnuevodia.com*. <https://www.change.org/p/alejandro-garcia-padilla-gobernador-de-puerto-rico-detenga-el-plan-de-fumigaci%C3%B3n-a%C3%A9rea-ahora>
- Rivero, J.A. 1998. Los anfibios y reptiles de Puerto Rico, 2da Ed. Editorial de la Universidad de Puerto Rico. San Juan, Puerto Rico.
- Ruiz Kuilan, G. 2016. Secretaria de Salud apoya la fumigación aérea con Naled. *Elnuevodia.com*. <https://www.elnuevodia.com/noticias/locales/nota/secretariadesaludapoyalafumigacionaereaconnaled-2216526/>
- Shoemaker, V.H., S.S. Hillman, S.D. Hillyard, D.C. Jackson, and M.Y. Wygoda. 1992. Exchange of water, ions and respiratory gases in terrestrial amphibians. Pages 125–150 in M.E. Feder and W.W. Burggren (eds.). *Environmental physiology of the amphibians*. University of Chicago Press, Chicago.
- U.S. Fish and Wildlife Service. 2004. Recovery plan for the Guajón or Puerto Rican Demon (*Eleutherodactylus cooki*). U. S. Fish and Wildlife Service, Atlanta, Georgia.
- Whitfield, S.M., K. Reider, S. Greenspan, and M.A. Donnelly. 2014. Litter dynamics regulate population densities in a declining terrestrial herpetofauna. *Copeia* 2014:454–461. *BioOne*, Google Scholar
- Yackulic, C.B., J.D. Nichols, J. Reid, and R. Der. 2015. To predict the niche, model colonization and extinction. *Ecology* 96:16–23. *Crossref*, *PubMed*, *Google Scholar*.

30:75:100 - THE STOICHIOMETRY OF RESEARCH, SCIENCE EDUCATION AND FOREST CONSERVATION IN PUERTO RICO

Ariel E. Lugo

USDA Forest Service International Institute of Tropical Forestry
1201 Ceiba St. Jardín Botánico Sur, Río Piedras, PR 00926-1115

One hundred years ago in 1918, governor Arthur Yager established the Puerto Rico Forest Service as well as several Insular Forest Reserves. This action formalized under insular leadership forest conservation in Puerto Rico. In 1943, Facundo Bueso became the first Dean of the newly established College of Natural Sciences within the University of Puerto Rico, a post he held until 1959 when he lost his life under tragic circumstances. Over the subsequent 75 years, the College of Natural Sciences became a leader in science education and research throughout Latin America. In 1988, the University of Puerto Rico received a grant from the National Science Foundation establishing the Luquillo Experimental Forest as a Long-Term Ecological Research program (LUQ LTER), which is still active and is conducting ecological research at the cutting edge of the ecological sciences.

Stoichiometry refers to the proportion of things. The 30:75:100 can be reduced to 1:2.5:3.3, the stoichiometry of time between these events. For every year of advanced ecological research in the LUQ LTER Program, two and a half years were invested in science education at the College of Natural Sciences, and 3.3 in forest conservation by the government of Puerto Rico. The Department of Natural Resources and the Environment (DRNA) has been the host of the Puerto Rico Forest Service since 1972, before that, the Puerto Rico Forest Service was housed in the Puerto Rico Department of Agriculture.

On December 6 to 8, 2018 a combined assistance of about 230 people gathered at the University of

Puerto Rico (Fig. 1) to celebrate the accomplishments and benefits to society of these three institutions and programs. The benefits from these activities (research, education, and conservation) demonstrably transcend the Puerto Rican society and reach regional and global scales. Most people intuitively understand the value of education and forest conservation, but



Figure 1. Poster used to advertise the anniversary activity. This poster was prepared by the Puerto Rico Department of Natural Resources and the Environment.

are less certain of the nature and importance of ecological research. It is also less clear to most people how intertwined research, education, and conservation are and how they depend on each other to make their mark in society and improve the well-being of people.

The activity had three objectives: 1. Make everyone aware of the history of accomplishments of these programs and institutions and how they relate to each other. 2. Explain the benefits that the Puerto Rican society derives from these programs and institutions. 3. Look forward to the next 100 years, anticipating the role that the programs and institutions will have in the reinvention of Puerto Rico after the passage of hurricane María.

The opening ceremony for the activity was on December 6, with the participation of the President of the University Dr. Jorge Haddock Acevedo and music by *La Tuna de Bardos* of the University of Puerto Rico. During this ceremony each institution or program recognized individuals with significant contributions to the achievements of the programs being celebrated. The Luquillo Long-Term Ecological Research Program recognized the two original principal investigators of the research program: Robert B. Waide and Ariel E. Lugo. The Natural Sciences College recognized the contribution of the late Gustavo Candelas, pioneer puer-torrican limnologist who directed the Biology Department at the time when ecological programs

Table 1. List of names of speakers arranged in alphabetical order by their last name, and their affiliations.

Name	Affiliation
Dr. Fernando Abruña	Abruña and Musgrave, Sustainable Ecological Green Architects, San Juan.
Dr. James D. Ackerman	University of Puerto Rico, Río Piedras.
Dr. T. Mitchell Aide	University of Puerto Rico, Río Piedras.
Dr. Alan Covich	University of Georgia, Athens, Ga.
Dr. Luz A. Crespo Valentin	Puerto Rico Science, Technology, and Research Trust, San Juan.
Ms. Hilda Díaz Soltero	U.S. Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service, Río Piedras.
Ms. Lisette Fas	CaféEsencia PR, Sabana Grande, PR.
Ms. Magaly Figueroa	USDA Forest Service, Río Piedras.
Dr. Grizelle González	USDA Forest Service, Río Piedras.
Dr. Matthew C. Larsen	Smithsonian Tropical Research Institute, Panamá.
Dr. Ariel E. Lugo	USDA Forest Service, Río Piedras.
Dr. Elvia Meléndez-Ackerman	University of Puerto Rico, Río Piedras.
Dr. Pablo Méndez, UPR	University of Puerto Rico, Río Piedras.
Mr. Alberto Mercado	Department of Natural Resources and Environment, San Juan (Currently: The Nature Conservancy).
Dr. Priya Parrotta	Music and the Earth International, San Juan.
Dr. Rafael A. Ríos	College of Natural Sciences, University of Puerto Rico, Río Piedras.
Dr. Whendee Silver	University of California-Berkeley.
Dr. María Uriarte	Columbia University, New York.
Lcda. Tania Vázquez Rivera	Department of Natural Resources and Environment, Río Piedras.
Mr. Robert A. Viqueira Ríos	Protectores de Cuencas, Inc., Yauco.
Dr. Brad R. Weiner	University of Puerto Rico, Río Piedras.
Dr. Jess Zimmerman	University of Puerto Rico, Río Piedras.

were being developed at the University. The Puerto Rico Department of Natural Resources and the Environment recognized the contribution of Frank H. Wadsworth, a pioneer of tropical forestry who at one time directed both the insular and national forests of Puerto Rico.

The list of speakers at the conference included insular and federal government officials, university professors, community leaders, and conservation leaders and practitioners (Table 1). Activities included plenary talks, four interrelated discussion panels, public participation through discussions, posters sessions, exhibitors, and a concluding discussion. The following four essays provide a flavor of the issues raised during this activity.

THE PRACTICE OF TROPICAL FORESTRY IN PUERTO RICO: COLLABORATION, VALUE, AND SERVICE THROUGH HISTORY

Ariel E. Lugo

USDA Forest Service International Institute of Tropical Forestry
1201 Ceiba St. Jardín Botánico sur, Río Piedras, PR 00926-1115

Being a forested island, Puerto Ricans have had a long history of interaction with their forests (Domínguez Cristóbal 2000). The professional and governmentally controlled practice of tropical forestry began in Puerto Rico in the late 19th century under the rule of King Alphonse XII of Spain. Domínguez Cristóbal (2000) reviewed this period of the history of Puerto Rico in detail, including the events under American rule in the early 20th century. His work should be consulted for an in-depth understanding of how the tropical forestry activities in the island developed. This brief essay was presented at the symposium celebrating the one hundred-anniversary of Commonwealth Forestry, the 30th anniversary of the Long-Term Ecological Research (LTER) Program, and the 75th anniversary of the College of Natural Sciences of the University of Puerto Rico (UPR). My objective was to focus on a few historical events that tie these programs together and help explain how their collaboration has added value and service to the lives of Puerto Ricans.

With the end of the Spanish-American war in 1898, the Treaty of Paris resulted in Puerto Rico becoming a territory of the United States of América (USA) and abolishing the *Inspección de Montes* (Puerto Rico's Forest Service) previously established by King Alphonse XII in 1876 through executive order (*Ordenanzas de Montes para el servicio del ramo en las provincias de Cuba y Puerto Rico*). For the next 19 years, Puerto Rico did not have a Forest Service, all forestry activity took place through the

federal government and evolved as did the United States Forest Service, established in 1905 within the United States Department of Agriculture (USDA). Before 1905, first the Forestry Division, and then the Bureau of Forestry, had roles to play in the forestry activities of Puerto Rico. The New York Botanical Garden, working in collaboration with the UPR and Legislature of Puerto Rico, also had a role to play in the formal development of forestry activities in Puerto Rico. Its Director, Nathaniel L. Britton lobbied the legislature for the establishment of a Puerto Rico Forest Service. In 1916, Louis S. Murphy, a USDA Forest Examiner, published an assessment of the forest conditions of Puerto Rico showing that the rate of wood consumption that he estimated was not sustainable and the current standing wood volume would run out in 12 years (Fig. 1). He recommended the establishment of a Forest Service for the purpose of managing forests and avoiding the loss of the resource. He estimated that with an annual investment of \$20,000, a forest enterprise could turn \$350,000 in annual interest over the value of standing wood in Puerto Rico (\$6,780,000), while also lowering wood importation costs, which in 1911 amounted to \$2,124,762.

On November 22, 1917, Public Law 22 was passed by the Puerto Rico Legislature, establishing the Puerto Rico Forest Service under the Department of Agriculture and Commerce. The public law was amended on April 25, 1930 authorizing the Division of Forestry to acquire lands for the purpose of clas-

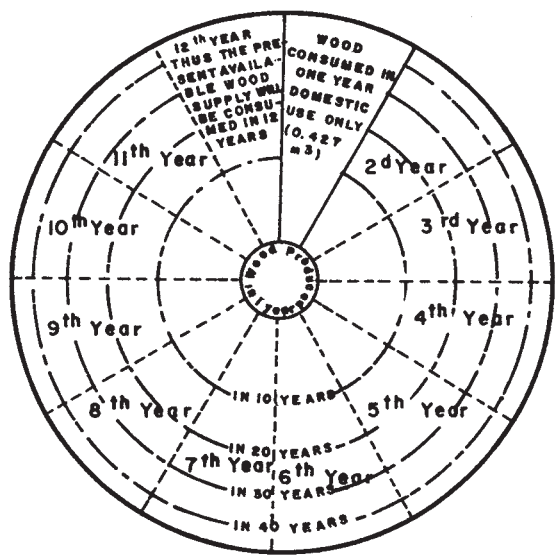


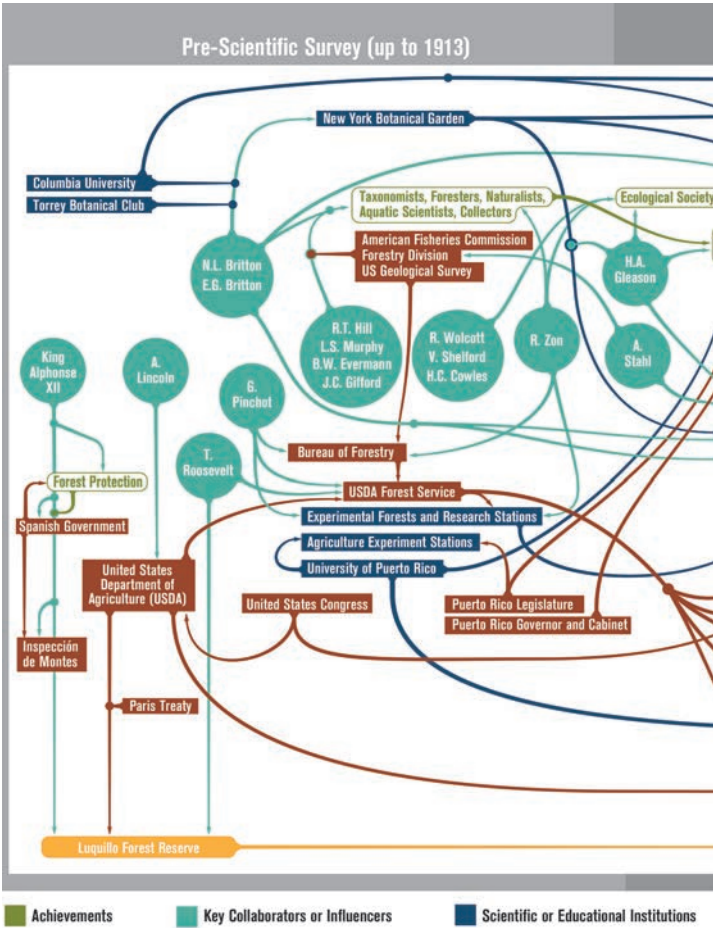
Figure 1. Analysis of wood production (circles) and consumption (pie sections) in Puerto Rico as estimated by Murphy (1916). Consumption was faster than production, thus exhausting available wood supplies in 12 years.

sifying lands as Auxiliary Insular Forests. A forest trust fund was established for land acquisitions.

From the outset forestry activity in Puerto Rico involved strong collaboration between the governments of Puerto Rico and the USA and with the UPR. By 1921, the UPR provided the land needed for the establishment of the first tree nursery at Río Piedras. The nursery was dedicated to research and propagation for forestry and ornamental purposes (Table 1). Experimentation with both native and non-native trees took place from the outset. Also, the nursery received material from other countries and introduced tree species to Puerto Rico. The production of the nursery in FY 1922 (Table 2) was impressive and distributed seedlings to many sectors

Table 1.
Propagated species in the first forestry nursery at Río Piedras

<i>Cedrela odorata</i> (cedro hembra)
<i>Cordia gerascanthus</i> (capá prieto)
<i>Calophyllum calaba</i> (maría)
<i>Hymenaea courbaril</i> (algarrobo)
<i>Mimusops nitida</i> (ausubo)
<i>Bucida buceras</i> (úcar)



of society, thus showing the public service and value added of the Puerto Rico Forest Service to society.

Forestry leadership was initially shared between the insular and federal levels and between management and research activities, and slowly evolved to the present condition, with each sector assuming

Table 2. Distribution of seedlings between July 1, 1922 to June 30, 1923 by the first forestry nursery in Río Piedras.

Number of Seedlings	Receipients and/or Use
44,861	To particulars
17,233	To agricultural agents and agricultural teachers
12,639	For Arbour Day
5,138	To schools
5,148	To municipalities
5,000	To sugar refineries & other corporations
93,039	Total seedlings distributed
77,300	Seedlings planted in public forests
170,339	Total number of seedlings produced and used
393,622	Planned production for the next FY

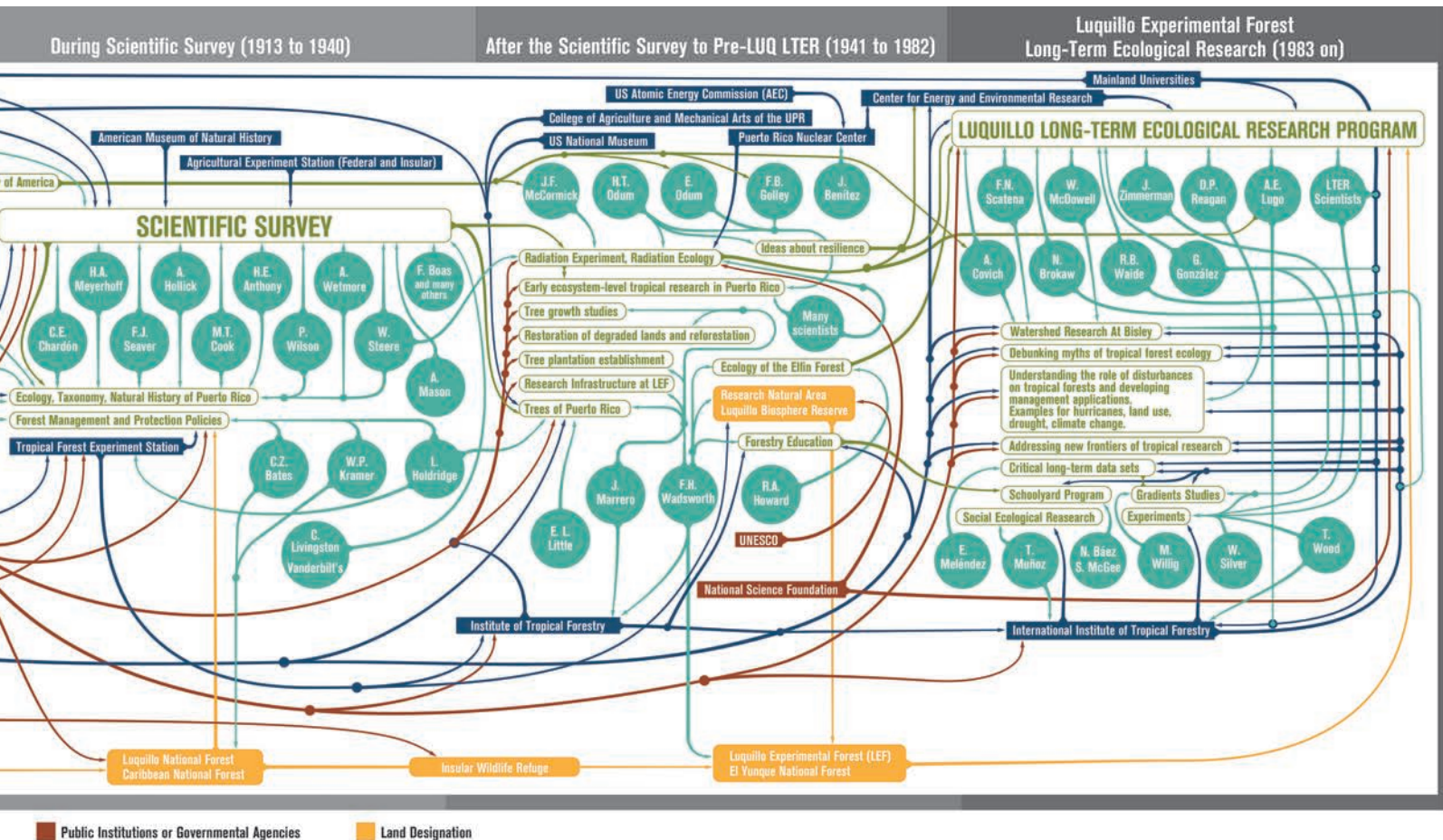


Figure 2. Diagram depicting the historical roots of the Long-Term Ecological Research Program in Puerto Rico. Many federal, state, and non-governmental institutions and scientists laid out the foundation and collaboration for the present program of forest research, education, and conservation in Puerto Rico.

independent responsibility for their assigned roles. Between 1917 and 1921, Emory Murray Bruner had several titles and responsibilities. He was Inspector de Bosques (in charge of insular forests), Superintendente General de Bosques (head of the Puerto Rico Forest Service), and Forest Supervisor, (head of the USDA Forest Service National Forest). These titles meant that he was the only official responsible for the National Forest (at the time the Luquillo National Forest, now, the El Yunque National Forest) and he was also responsible for all public forests under the Puerto Rico Department of Agriculture and Commerce. William P. Kramer (1922), Thomas R. Barbour (1931), and E. Worth Hadley (1935) followed Murray Bruner.

In 1939, forestry activity in Puerto Rico was enriched by the establishment of the USDA Forest

Service Tropical Forest Experiment Station. This organization was dedicated to research as its sole mission, a function that up to now was imbedded within the existing forest management units in both federal and insular governments. In 1943, Arthur Upson was appointed to lead the Tropical Forest Unit, which was composed of the Tropical Forest Experiment Station, the National Forest, and all Insular Forests. All forestry activity in Puerto Rico, federal and insular, under one person as leader. In 1951, Henry B Bosworth substituted Upson.

In 1953 leadership of forestry activities in Puerto Rico were split: Miguel Hernández Agosto led the Puerto Rico Forest Service, Frank H. Wadsworth led the Research Unit, and Irvin Pat Murray was the Supervisor of the National Forest. This was the end

of federal leadership over the Insular Forest Service. The leadership of federal units would continue to evolve. In 1956, USDA Forest Service Chief, Richard E. McCardle, combined the research and management functions of the USDA Forest Service in Puerto Rico under Frank H. Wadsworth, and designated the National Forest an Experimental Forest in its entirety. That year, the Tropical Experiment Station became the Institute of Tropical Forestry. In 1963 Larry Hill was Project Leader for both units under Director Wadsworth, but in 1973, leadership was again separated with L.A. (Andy) Lindquist becoming Forest Supervisor and Wadsworth continuing to lead the Tropical Forest Experiment Station. That year, the Puerto Rico Forest Service was transferred from the Puerto Rico Department of Agriculture to the then Department of Natural Resources (now the Department of Natural Resources and the Environment). In 1992, the Institute of Tropical Forestry was renamed International Institute of Tropical Forestry with assigned missions in Research and Development, International Cooperation, and State and Private Forestry.

As all these changes were taking place in the forestry sector, there were equally dramatic changes taking place within the UPR and tropical forestry research within Puerto Rico. In 1987, the LTER was formalized in Puerto Rico first under the President of UPR and then under the College of Natural Sci-

ences. This college originated in 1943 and it was instrumental in educating the scientists and technicians that would lead LTER programs in the Luquillo Experimental Forest. Moreover, before the LTER, the College of Natural Sciences and the UPR were establishing the facilities and programs that would support forestry and LTER programs in Puerto Rico.

Describing such dramatic changes and interactions is outside the scope of this essay, but I offer Fig. 2 as a depiction of some of those changes, but more importantly to show the intricate interactions between the UPR, LTER, and Commonwealth and USDA Forest Services over a span of 100 years. The diagram depicts changes in land tenure, land management responsibilities, logistical support among government and non-government institutions, as well as some of the names of scientists and administrators that have made the accomplishments of this history a success story for the Puerto Rican society who has derived services, benefits, and values in the form of a healthy forest cover in the island.

LITERATURE CITED

- Domínguez-Cristóbal, C. M. 2000. Panorama histórico forestal de Puerto Rico. Editorial de la Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, PR.
- Murphy, L. S. 1916. Forests of Puerto Rico: past, present, and future and their physical and economic environment. US Department of Agriculture Bulletin 354, Washington, DC.

REFLEXIÓN SOBRE LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS Y EL FUTURO DE PUERTO RICO

Ingrid M. Vila Biaggi, MS, PE

CAMBIO, San Juan, PR.

Estudiar ciencia, matemática, ingeniería o tecnología significa estar dispuesto a ver y entender el universo que habitamos de una manera distinta. Es ponerse unos lentes que te permiten ver el mundo con otra óptica. Unos espejuelos que no te puedes ni te quieres quitar.

Como un superhéroe (Fig. 1) que puede ver el espectro electromagnético (rayos gamma, infrarojo, microondas), pues la persona que estudia ciencias, adquiere también la capacidad de ver y entender las cosas de manera distinta.

Y es que estas disciplinas entrenan la mirada, y afinan nuestra capacidad de percepción. Nos permiten ir más allá de lo que se ve a simple vista y comprender, por ejemplo, el comportamiento hidráulico, la interacción de las moléculas, y la transferencia o conservación de energía.

En un mundo donde se continúan repitiendo los errores del pasado, debido a que en muchas instancias el interés del lucro y el poder se anteponen a la evidencia científica, a buscar alternativas y al análisis concienzudo, se torna imperante ampliar el enten-

dimiento de las ciencias y esa capacidad de ver más allá. Para salir del atolladero en que el ser humano se ha metido, particularmente desde Adam Smith y la promoción del interés individual, se necesitará nada menos que superhéroes y superheroínas con la capacidad de entender el funcionamiento de los diversos sistemas en nuestro planeta y la sensibilidad de asumir con responsabilidad su rol como ciudadanos en un mundo compartido y lleno de injusticias.

Una educación de base científica permite descubrir cómo se mueve y cómo funciona el mundo y el universo. Esto fue lo que me motivó a estudiar ingeniería ambiental, pues saber cómo funcionan los sistemas naturales implica poder conocer y anticipar las soluciones a muchos de los problemas que nos afectan y nos afectarán. Esa es la vocación de alguien que entra en el campo de las ciencias: entender mejor, comprender mejor, para ayudar a resolver con respuestas educadas y responsables las complicaciones que trae y traerá consigo la vida en sociedad.

Todas las disciplinas científicas están estrechamente vinculadas a la vida en comunidad y es preciso no perder esto de perspectiva. Porque un científico sin sensibilidad de su rol en la sociedad, sin conciencia de justicia social, puede ser tan tóxico y pernicioso como un banquero de Wall Street indiferente al bien común.

Por esto es importante reconocer que el universo de los saberes no está desconectado. Para ser un buen ingeniero, un buen científico o matemático, hay que explorarlo todo, darle rienda suelta a la curiosidad, que es madre de la invención. No basta con atrincherarse y limitarse a un tipo de conocimiento. Es preciso conocer la literatura, la economía, la sociología,



Figure 1. www.superfriends.fadom.com

abrirse al contacto de otras materias, de otros idiomas, de otros lugares, que enriquecerán siempre nuestra visión del mundo y que nos permitirán desarrollar sensibilidad y lograr mayor entendimiento de problemas complejos.

Huxley (Fig. 2) fue un biólogo inglés del siglo 18, defensor de las teorías darwinianas sobre la evolución. Nada más lejos de la verdad en lo que dice:

“The great truth is that art and literature and science are one, and that the foundation of every sound education and preparation for active life in which a special education is necessary should be some efficient training in all three”

Miren las imágenes en la Fig. 3. Arriba tenemos una foto de un paisaje natural. A la izquierda tenemos la representación artística. Para el artista los colores son símbolos que representan las emociones y el sentir de lo que presenció en ese momento dado.

La ciencia también se comunica a través de símbolos que nos permiten ver el orden y la belleza de la naturaleza. En este caso el científico puede ver en esta imagen el proceso de fotosíntesis.

Ambas disciplinas, nos permiten adentrarnos a entender los misterios y maravillas del mundo que nos rodea. Al mundo, a Puerto Rico, necesitamos mirarlo con la creatividad de un artista y la curiosidad de un científico para entenderlo, protegerlo y mejorarlo.

Si queremos cambiar las cosas en el futuro de nuestra

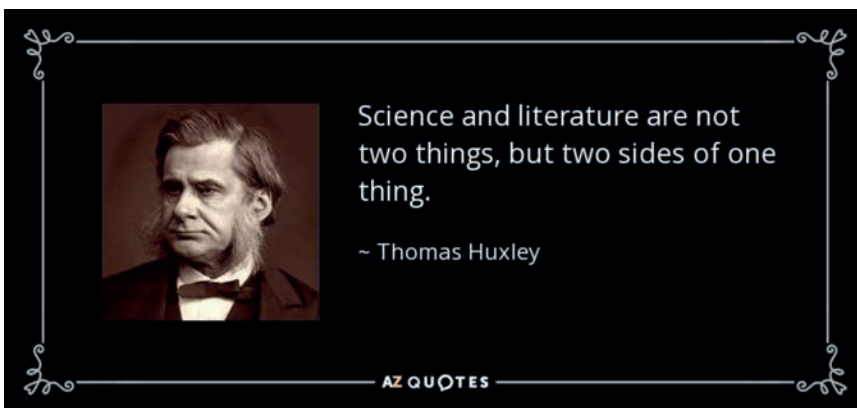


Figure 2. www.azquotes.com

isla y del mundo general tenemos también que repensar la forma y manera en que hemos desarrollado la educación en las ciencias. Aunque la especialización ha permitido importantes avances, también ha creado individuos con una educación a medias, que saben mucho de solo un tema, y el mundo no funciona así.

El ciudadano del futuro y el ciudadano que necesitamos en Puerto Rico es aquel que tiene las aptitudes y los recursos para responder y ofrecer soluciones a los diversos retos que se le presenten. Por esto la educación en ciencias, matemáticas, ingeniería tiene que ir acompañada de la educación en las artes, la literatura, en economía, en sociología y vice-versa (Fig. 4). De igual manera es importante que se imprima en esta educación integral la ética, la justicia social, el servicio a los demás, el bienestar común. Son temas que poco a

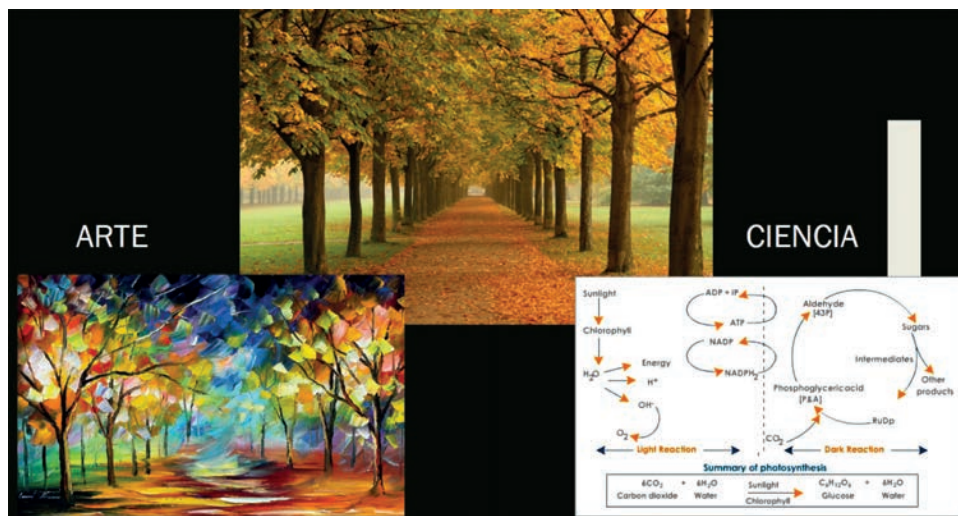


Figure 3. www.desktopbackground.org; www.little-love-photography.com; www.hubpages.com/education

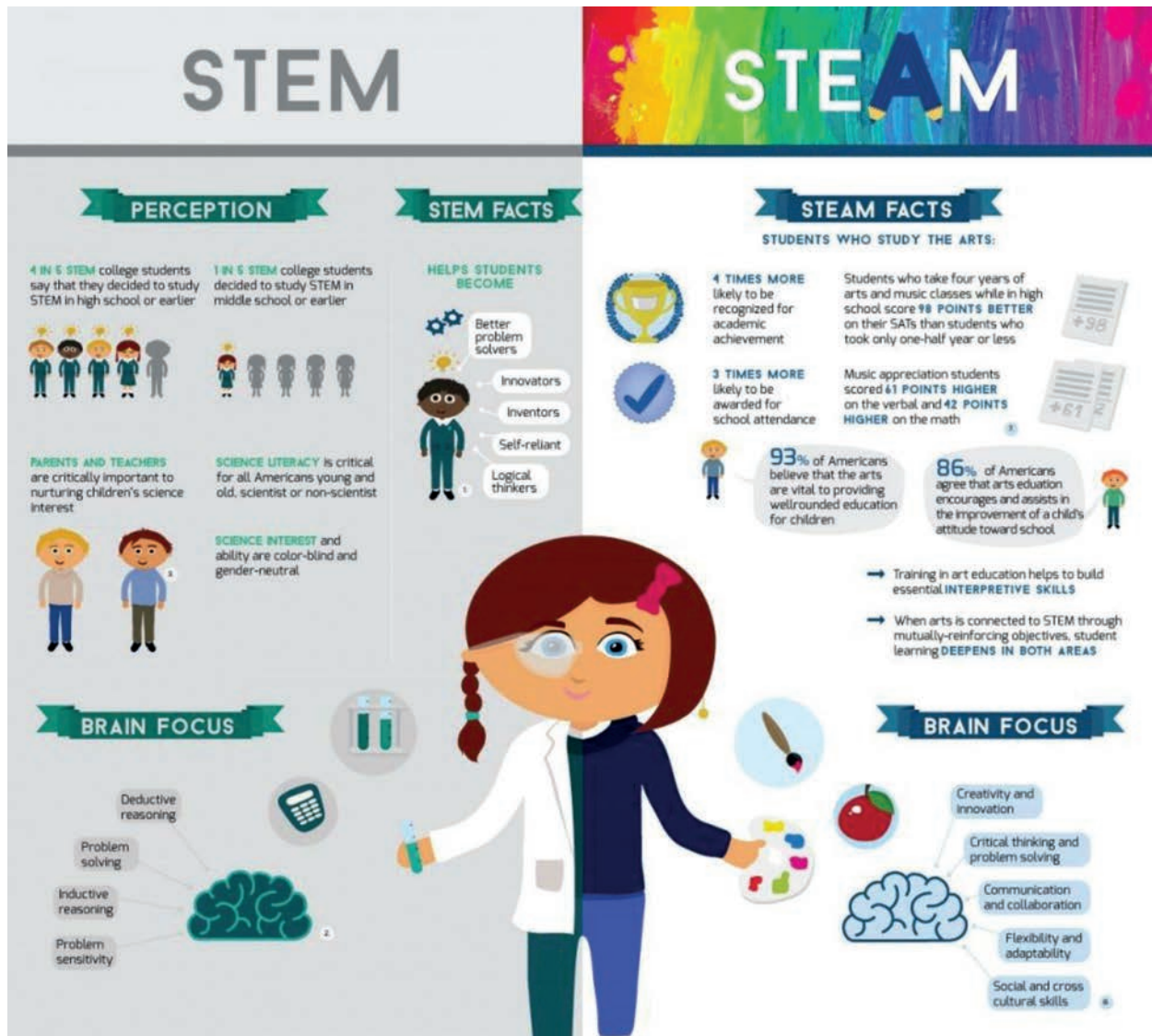


Figure 4. www.elearninginfographics.com

poco se han erosionado de la formación y del desarrollo profesional y que resultan imprescindible incluir. Los retos del futuro lo requieren.

Y aquí tomo un corto desvío (Fig. 5), para distinguir el rol de las mujeres ante los retos del futuro. Las mujeres estamos más receptivas a desarrollar aptitudes que nos permiten ver los problemas de manera integral.

Los retos que enfrentamos hoy en día y que encararemos en el futuro necesitan de la fortaleza que emana de la capacidad de escuchar, de crear consenso, de la compasión, de la creatividad y de buscar soluciones y salidas sustentables a largo plazo.

Aparte de inteligencia, las mujeres tenemos estas capacidades y estamos igual o mejor preparadas que nuestros pares varones. Por esto es tan importante que de cara al presente y futuro tomemos acciones proactivas para salir de los estereotipos y para abrir camino a que las mujeres se eduquen de manera integral insertando las ciencias y las matemáticas en su formación. Y además de educarse, que se desarrollen las estructuras sociales que apoyen el que las mujeres puedan trabajar en estas disciplinas, y no se vean forzadas a abandonar sus carreras una vez se convierten en esposas o madres.



Figure 5. www.ted.com/playlist/253/11_ted_talks_by_brilliant_wome

Regresando al tema inicial, resulta esencial insertar el conocimiento y la estructura científica, al proceso decisional de nuestra sociedad, incluyendo el gobierno. Si no nos ha ido muy bien como sociedad es precisamente en parte porque hemos tenido un exceso de otras disciplinas en las posiciones de liderazgo y muy poca representación o inherencia científica en el proceso de toma de decisiones. Estas otras disciplinas tienden a ver el país y sus recursos como fichas de intercambio de mercado, devaluando así su aportación al funcionamiento y al bienestar general. Esta visión ya tiene sus días contados, pues de lo contrario no quedará planeta en el que vivir (Fig. 6).

La brecha entre los problemas que enfrentamos y las soluciones es cada vez más amplia y requiere de acercamientos holísticos por personas que se han entrenado para entender que son parte de un todo más amplio.

Pensemos en las inmensas posibilidades que se ex-

tienden ante nosotros si transformamos la manera de educar para que todos y todas en Puerto Rico reciban una educación integral basada en las ciencias, las matemáticas y las artes. Pensemos en las vidas que, por medio de estas disciplinas, podemos mejorar y podemos transformar. Pensemos en el país que podemos volver a construir, en el país que queremos rediseñar en el siglo XXI: un país respetuoso de la naturaleza, un país de desarrollo sostenido y balanceado, un país que ponga la ciencia, la matemática y las artes en función para combatir la pobreza, la marginalidad, las desigualdades, el crimen, el cambio climático, que es sin duda la mayor amenaza que vamos a enfrentar en las próximas décadas.

Necesitamos atraer a que las y los jóvenes decidan insertarse en estas disciplinas para cambiar y mejorar el mundo. Personas con la capacidad de diseñar nuevas teorías económicas que vengan a sustituir el modelo *laissez-faire*. Personas que vengan a restituir la valoración a la diversidad y a la variedad de componentes del planeta tierra. Personas que reconozcan que el mayor activo que puede tener un país, aparte de su gente, es contar con biodiversidad y con recursos de agua, suelos y aire limpios y protegidos de contaminación.



Figure 6. www.parabolstudio/shutterstock

FROM FORESTS TO THE PUBLIC SPHERE: PROMOTING AWARENESS BY EXPANDING CONCERN

Priya Parrotta

Music & the Earth International, San Juan, PR.

“Today we are faced with a challenge that calls for a shift in our thinking, so that humanity stops threatening its life-support system. We are called to assist the Earth to heal her wounds, and in the process, heal our own—indeed, to embrace the whole of creation in all its diversity, beauty and wonder. Recognizing that sustainable development, democracy and peace are indivisible is an idea whose time has come” (Wangari Maathai).

In 1977, Wangari Maathai, a zoology professor based in Nairobi, Kenya, founded the Green Belt Movement. For over forty years, the Green Belt Movement has engaged women in rural Kenya to plant trees and combat deforestation. Since its founding, this initiative has been praised for its understanding of the relationship between deforestation and the social and economic challenges facing women. In 2004, Wangari Maathai’s work earned her the Nobel Peace Prize—an award which has historically honored advances in the distinctly human projects of democracy and peace.

The activities of the Green Belt Movement continue to illustrate the fact that forests and social life are deeply connected to one another. In addition to providing foods that we consume and medicines we rely on, forests often provide the source for cultural products such as furniture, clothing and musical instruments. Additionally, they play an absolutely essential role in regulating global climate patterns and stabilizing the ecosystems within which we live. They are the source, the scaffolding and the buttress for much of human life, be it urban or rural, “North” or “South.”

However, despite this, a startlingly high percentage of people, particularly in urban areas, regard forests as essentially separate from human life. Forests and the “public sphere” are seen as opposed, neither similar to nor even related to each other.

Public discourse around forests, especially in urban environments, tends to reinforce this separation. We often receive messages that forests are spaces for excursions and retreats. The goings-on within them are only relevant to us when we are planning a trip to see them first-hand. The representations of forests that we receive often imply that forest research, science and policy are not as relevant to us as the more “social” challenges of our daily lives. Yet this is far from true.

For centuries, scientists have been warning the public about the effects of deforestation. Alexander von Humboldt, for instance, critiqued the deforestation of South America by the Spanish after visiting the Americas in the earliest years of the nineteenth century. He described the phenomenon, and his writings were distributed among the salons of Europe and Latin America. These publications began to build a bridge between the concerns of forests and public life and ended up inspiring generations of scientists and conservationists. The landscape of communication today may be dramatically different from what it was in the nineteenth century, but today’s forest researchers face the same challenge of educating diverse audiences in the importance of conservation, and the impact of exploitation.

Recently, political events in Puerto Rico, Brazil, the United States and other countries have revealed a new

frontier in our ecological crisis. It is now clearer than ever that our politicians do not feel proper responsibility for the socio-ecological systems within and outside their borders.

Sustainability is, therefore, a project which *demands* the support and engagement of the general public. If our leaders refuse to set a good example, then *we* must transform public space, such that it supports local and global environmentalism. Forest science may be a professional domain, but forest awareness and activism is the domain of all.

In my opinion, the crisis of public space which we currently face consists of two components. The first is that for the most part, the environment, and forests in particular, are not considered *de facto* participants in so-called “public space.” Historically, public space has been considered a sphere populated entirely by human beings. In its most idealistic expressions, the public sphere has served as a forum where humans can deliberate about issues pertaining to social life. Social justice, human rights, economic justice, political accountability—all of these have been important and relevant themes in the public sphere. It goes without saying, of course, that they are important themes for environmentalists as well.

However, to this list of social concerns we need to add another: the absence of the environment and of the ecological realities we face, as a participant in these forums. This may sound a bit odd to some people, but we must ask, where are the voices of forests in civil society? Where are their concerns, their needs, the full extent of their health and potential? Do the people who are able to convey these voices—ecologists, for instance—possess sufficient public platforms to do so?

In Puerto Rico, public awareness of forest health is woefully lacking. Weekend trips to El Yunque often end with colossal amounts of discarded trash—sad reminders not only of the need for greater environmental education, but also of the consumerist lifestyles which are so popular on the island. This brings me to the second component of our crisis of public

space, from an environmental perspective. Within the public sphere, we behave more as consumers than as members of a biosphere that deserves our curiosity and respect.

Therefore, one of the ways we might conceptualize our environmental crisis is as follows—the codes by which we occupy public space are flawed, detrimental to the environment, and must change.

To understand how to effect this change, it is important for us to understand several historical factors. These include capitalism, colonialism, and, crucially, the firm divide between “Nature” and “Society” which we have inherited from the European Enlightenment. In some ways, this divide is a hallmark of all societies which seek to dominate or domesticate their environments. All of these forces have encouraged in us a belief that social space is the realm of man, that ecosystems such as forests are the realm of nature, and that the former is destined to triumph over the latter. Ecologists know that such a statement makes no sense whatsoever—yet to the general public, this way of thinking forms the foundation for much of daily life. Many subscribe to an attitude which is not rational but is widely adopted in any case: that removing oneself from non-human environments somehow confers social power.

At certain moments in world history, however, the public space *has* positively transformed in the face of new ethical imperatives. The movement for the abolition of slavery, for instance, was formed in part in the public spaces of late eighteenth- and early nineteenth-century London. There, the public sphere expanded to include the experiences of enslaved people. Those who had previously been considered only as agents of economic growth and decline were now regarded for who they were: human beings who had long been exploited to service the narrow needs of those in power. The Abolition Movement was defined by a new sense of responsibility to defend the rights of people who had previously not had a voice in the British public sphere. In this regard, the environmental movements of today are no different.

A revolution of public space is necessary in Puerto Rico, to bring forests into the frame. This can take place through the sorts of educational programs that are already being implemented, under the auspices of the Servicio Forestal, local environmental nonprofits, and chapters of international conservation initiatives.

Artistic and cultural initiatives also have an important role to play in this revolution. Music, for instance, can serve as a conduit for environmental awareness; at the same time, it can provide a common ground through which people can connect over what are essentially shared concerns. Music related to forests can help people to realize that the division between human life and the world of nature is tenuous and counter-productive. It can remind the public that if we continue to think this way, we will lose many of our cultural artifacts—not to mention the sustainability of the planet as a whole.

One global initiative which has made significant achievements in this regard is the International Wood

Culture Society. The International Wood Culture Society is a nonprofit organization dedicated to “sharing the value and ways we use wood in our society.” Among its range of activities is a series of concerts and demonstrations of wood-derived musical instruments from around the world. They partner with forest research organizations for many of their activities. In so doing, the International Wood Culture Society draws public awareness to the indispensable role that forests play in some of the most treasured practices of human life. In my opinion, it is through such connections that the public sphere can be transformed from a rather unhelpful space to a site for spirited consciousness-raising.

In conclusion, both history and contemporary initiatives provide heartening examples of creative action and positive change within the public sphere. Through past, present and future efforts, forests *can* continue to enter into the frame, and become added to the roster of concerns which bring us together as citizens, to deliberate over a more enlightened future.

REFLEXIÓN SOBRE LOS BOSQUES PÚBLICOS DE PUERTO RICO Y SU IMPORTANCIA PARA EL FUTURO DE LA ISLA

Hilda Díaz Soltero

Animal and Plant Health Inspection Service, Río Piedras, PR

¿Cuál es la situación actual sobre la conservación de los bosques por parte del Servicio Forestal del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) de Puerto Rico?

Quiero felicitar de corazón y reconocer la labor titánica de los oficiales de manejo y los directores de los programas de los bosques y las áreas naturales del DRNA. Estos son tiempos difíciles económicos, por el número pequeño de profesionales, y por la limitación de opciones para conseguir fondos en la conservación. ¡Enhorabuena por su servicio y dedicación!

La mayor parte de los bosques no pertenecen al DRNA, sino a otras entidades del gobierno que pueden reclamarlas, venderlas y las han gravado para garantizar sus deudas a terceros. Hay que actuar de inmediato para que se traspase el título de propiedad de los terrenos al Departamento. Esta gestión puede hacerse en el Programa Pro Patrimonio Natural (PPN).

Debemos poner una servidumbre de conservación específica para cada bosque o área natural protegida que indique los recursos naturales que posee y las decisiones para manejar los mismos. El PPN puede hacer esta gestión, con ayuda de la División Legal del DRNA.

Son pocos los bosques que tienen planes de manejo para sus recursos naturales. Debemos hacer o poner al día los Planes de Manejo para cada bosque o área natural protegida (ANP).

Hay que restituir el modelo para que cada bosque tenga su Biólogo Residente, especialistas técnicos en los recursos del bosque, trabajadores, especialista en recreación y un grupo de Vigilantes. Al presente los bosques no cuentan con estos recursos humanos ni con los recursos para comprar equipo y materiales para hacer proyectos esenciales a su conservación.

Hay que educar dentro y fuera del Departamento a los empleados y líderes estatales y a los políticos que hacen decisiones presupuestarias para conseguir más fondos para el manejo y la conservación de los bosques y ANP.

Hay que continuar aumentando el tamaño de los bosques y ANP. Existen prioridades para seleccionar las parcelas más importantes en cada bosque. Debemos usar los fondos del PPN, así como otros fondos estatales, federales y privados.

¿Cuáles son los beneficios de la labor del DRNA en la conservación de los bosques de Puerto Rico para nuestra sociedad?

Los bosques:

- Capturan lluvia y rocío, y producen agua limpia y abundante;
- Crean suelos, en particular la capa superior. Los suelos son ricos en rocas, minerales y biodiversidad, que nutren las plantas del bosque;

- ▶ Albergan gran número de plantas cobertoras, arbustos y árboles. Muchos son nativos y otros naturalizados o exóticos. También son hábitat para especies amenazadas o en peligro de extinción. Las plantas producen follaje que puede servir para el consumo de animales y la vida silvestre. Producen oxígeno que mejora la calidad de nuestro aire. Capturan polvo y partículas del aire, mejorándolo.
- ▶ Los bosques son hábitat para el descanso, la alimentación y la propagación de nuestros pájaros y otra vida silvestre.
- ▶ Son lugares de contemplación y recreación para las personas, esenciales para nuestra salud física, emocional y mental en estos tiempos difíciles.
- ▶ Son patrimonio de los puertorriqueños de ayer y de hoy, lugar en que hemos hecho actividades y rituales desde que habitamos esta isla.

¿Cómo pueden estos beneficios alcanzar escalas regionales y globales?

Antes de aspirar a influenciar escalas regionales y globales tenemos que mejorar la conservación y el manejo de nuestros bosques y asegurar su existencia a largo plazo traspasando el título de propiedad de las tierras al DRNA.

Nuestro ejemplo de manejo, con sus éxitos y problemas, puede ser compartido con las islas del Caribe y los países de la cuenca del Caribe. Aprendamos de ellos también según les enseñamos nuestras experiencias.

Podemos establecer intercambios de personal para facilitar este aprendizaje mutuo.

Podemos hacer talleres demostrando lo que estamos haciendo, y abrirlos a personal en todas las naciones tropicales y subtropicales.

Debemos documentar mejor lo que hacemos en los bosques y ANP, dándonos a conocer y demostrando cómo vamos avanzando en el manejo de los bosques.

Por último, tenemos que encender la pasión por los bosques y la Naturaleza en las nuevas generaciones. De entre ellos saldrán los futuros Oficiales de Manejo.

¿Cuál es el rol del Servicio Forestal del DRNA en la conservación de los bosques en los próximos 100 años?

Debemos lograr todos los asuntos que mencione al principio de mi presentación. Mejorar el manejo y la conservación de nuestros bosques siempre debe ser la primera prioridad.

Debemos documentar y compartir las lecciones para el manejo de los bosques durante y después de huracanes.

Debemos pensar el rol de los bosques y las ANP en los próximos 100 años de cambio climático en la isla. ¿Cuáles serán los cambios específicos que los afectarán? ¿El alza en temperatura, sequía, marejadas, inundaciones? ¿Cómo hacemos a las áreas naturales más resilientes? ¿Qué nuevos conocimientos tienen que aprender los Oficiales de Manejo para bregar con el cambio climático? ¿Cómo educar los líderes del DRNA, del gobierno y la Legislatura para tener su apoyo en políticas públicas y el presupuesto necesario para lidiar con el cambio climático?

Debemos abandonar el tribalismo político que margina la participación de profesionales forestales y de recursos naturales que fueron servidores públicos durante el liderazgo de otro partido político. No somos tantos los que tenemos el conocimiento. Puerto Rico no se puede continuar dando el lujo de excluir ese talento humano.

Hay que educar al pueblo para que conozca, ame y atesore sus bosques y las áreas naturales protegidas. Sino, los perderemos.

Índice de los volúmenes 26-30 de la revista *Acta Científica* (2012-2016)

Danilly Ramos

Recinto de Ciencias Médicas, Universidad de PR.

Con motivo a la celebración del aniversario de la revista *Acta Científica* es un placer presentarle el *Índice de los Volúmenes 26 al 30*. Para el desarrollo de este y continuando con el excelente trabajo intelectual de los autores de *Acta Científica*, consultamos los pasados índices elaborados por la Dra. Irma Quiñones y esta servidora.

Para la entrada del índice de autores se trabajó tal como se expuso en las versiones anteriores. Por lo que se observará una entrada por cada profesional que creó el documento.

Con relación al índice de materias, se presenta los nombres científicos cuando forman parte del título y se analizó el contenido para asignar las materias. Igualmente, se utilizó las palabras claves que establecieron los autores. En cuanto a las herramientas de consulta se trabajó con Library of Congress Authorities <https://authorities.loc.gov/>, entre otros.

Los artículos publicados en tan importante revista contienen un vocabulario científico de vital importancia para la comunidad científica, educativa y estudiantil que acceden a estas investigaciones.

En el volumen 26 (1-3) se exponen estudios de proyectos desarrollados por algunos maestros durante el periodo de verano en Puerto Rico y Oregon sobre los ecosistemas y sus funciones como es el caso de la producción de agua de alta calidad en los ríos y control de temperatura, entre otros temas.

El volumen 27 incluye un análisis crítico de los documentos oficiales que describen la planificación y desarrollo del proyecto de canalización del río Piedras.

Prosiguiendo con el volumen 28 se exponen artículos científicos relacionados a asuntos de biodiversidad. También, se presentan reflexiones sobre la evolución de la investigación científica social ecológica bajo el programa ULTRA (*Urban Long Term Research Area*) de la Universidad de Puerto Rico y el Servicio Forestal de los Estados Unidos. Asimismo, encontraremos información sobre la zona del karso.

En el volumen 29 podrán apreciar los aportes de los estudiantes al presentar las investigaciones realizadas en sus cursos. Entre los estudios llevados a cabo se encuentra las almohadas de basalto expuestas, formación de robles, evaluación de la importancia del polvo africano y otros materiales paternos, así como las hojas de *Cecropia schreberiana*, entre otras investigaciones.

Igualmente, en el volumen 30 se presentan otras investigaciones realizadas por alumnos, en esta ocasión, los maestros utilizaron la estrategia educativa de aprendizaje basado en proyectos en el manejo de desperdicios sólidos.

Para esta servidora fue un placer poder colaborar y ser parte del equipo de trabajo de la Revista *Acta Científica*.

ÍNDICE DE AUTORES

- Abad C., G. Dávila, M.F. Barberena-Arias, J. Ortiz-Zayas, G. Almodóvar, E. López, M. Rodríguez, M. Samó y L. Troche. "Comparación de la fauna de artrópodos terrestres entre pastizales y bosques dominados por el tulipán africano (*Spathodea campanulata*), en tres zonas del carso norteño en Puerto Rico." 26 no. 1-3 (2012): 68-79.
- Abad Clara. "La composición de la comunidad de aves en un bosque tropical urbano." 26 no. 1-3 (2012): 87-97.
- Abelleira Oscar, Ernesto Medina, Elvira Cuevas, Ariel E. Lugo y Jessica Fonseca da Silva. "Jobos bay mangroves revisited: Gas exchange, salinity, and nutrient relations." 29 no. 1-3 (2015): 92-108.
- Abelleira Martínez Oscar J. y Sally González Miranda. "El abandono agrícola reflejado en el ciudadano: Manejo de reforestación urbana." 29 no. 1-3 (2015): 66-77.
- Alexander Ellen W., Sarah E. Bessey, y S. Libby Lazare. "Petrology, geochemistry, and morphology of the lapa lava pillow basalts, Salinas, Puerto Rico." 29 no. 1-3 (2015): 2-14.
- Alicea Martínez Adaíl, Nora Álvarez Berrios y Natalia B. Álvarez Negrón. "Teoría transdisciplinaria al servicio de los más vulnerables: Estudio de caso del río mameyes, Puerto Rico." 30 no. 1-3 (2016): 296-311.
- Almodóvar, Abad G., J. Ortiz-Zayas, M.F. C. Barberena-Arias, E. López, M. Rodríguez, M. Samó, G. Dávila y L. Troche. "Comparación de la fauna de artrópodos terrestres entre pastizales y bosques dominados por el tulipán africano (*Spathodea campanulata*), en tres zonas del carso norteño en Puerto Rico." 26 no. 1-3 (2012): 68-79.
- Álvarez Berrios Nora, Adaíl Alicea Martínez y Natalia B. Álvarez Negrón. "Teoría transdisciplinaria al servicio de los más vulnerables: Estudio de caso del río mameyes, Puerto Rico." 30 no. 1-3 (2016): 296-311.
- Álvarez Negrón, Natalia B., Nora Álvarez Berrios y Adaíl Alicea Martínez. "Teoría transdisciplinaria al servicio de los más vulnerables: Estudio de caso del río mameyes, Puerto Rico." 30 no. 1-3 (2016): 296-311.
- Andrade Núñez María José y Jessica Castro Prieto. "Public perception towards stray cats in old San Juan, Puerto Rico." 30 no. 1-3 (2016): 270-281.
- Aponte Ramírez Jadira. "A problem based learning intervention on organic matter recycling and biogeochemical cycles." 30 no. 1-3 (2016): 86-106.
- Archibald Wendy. "Getting edgy: Comparing populations of arthropods across the forest/meadow ecotone in the HJ Andrews experimental forest, Oregon." 26 no. 1-3 (2012): 34-38.
- Auccahuallpa Roxana y Marta Fortis. "Efecto de intervención interdisciplinaria en la actitud hacia las ciencias y matemáticas." 30 no. 1-3 (2016): 45-60.
- Báez Carmen L. "Por ciento de cenizas en la flora epifítica de *Prestoea montana*." 28 no. 1-3 (2014): 16-23.
- Barberena-Arias María Fernanda y Jorge R. Ortiz Zayas. "La complejidad ecológica de un bosque tropical urbano." 26 no. 1-3 (2012): 109-120.
- Barberena-Arias M.F., G. Dávila, J. Ortiz-Zayas, C. Abad, G. Almodóvar, E. López, M. Rodríguez, M. Samó y L. Troche. "Comparación de la fauna de artrópodos terrestres entre pastizales y bosques dominados por el tulipán africano (*Spathodea campanulata*), en tres zonas del carso norteño en Puerto Rico." 26 no. 1-3 (2012): 68-79.
- Beltrán Morales Sandra. "Students' learning on solid waste disposal as an alternative source of energy." 30 no. 1-3 (2016): 107-126.
- Bessey Sarah E., Ellen W. Alexander y S. Libby Lazare. "Petrology, geochemistry, and morphology of the lapa lava pillow basalts, Salinas, Puerto Rico." 29 no. 1-3 (2015): 2-14.
- Blanco Juan F., Johana M. Sarmiento y Nelsón Fernández. "Geografía de los ríos de Puerto Rico: Clasificación de series de caudal e implicaciones ecológicas." 28 no. 1-3 (2014): 35-47.
- Borrero Michelle, Milagros Bravo Vick, Marta Fortis y Pascua Padró Collazo. "Mejorando la educación stem a través de la investigación educativa." 30 no. 1-3 (2016): 6-25.
- Borrero Michelle, Sandra M. Del Río Joglar y Jorge Rodríguez Lara. "Educación ambiental informal: Un modelo para mejorar el desempeño en las pruebas puertorriqueñas de aprovechamiento académico." 30 no. 1-3 (2016): 26-44.
- Bravo Vick Milagros, Michelle Borrero, Marta Fortis y Pascua Padró Collazo. "Mejorando la educación stem a través de la investigación educativa." 30 no. 1-3 (2016): 6-25.
- Carnes Rachele, Kevin Marquardt, Molly Charnes, Logan Marquardt y Padriac Quinn. "Moth diversity in the HJ Andrews experimental forest during the summer 2009." 26 no. 1-3 (2012): 27-33.
- Cartagena Colón Marianne y Jorge R. Ortiz Zayas. "Los ahogamientos en ríos en Puerto Rico: Sus causas y factores de riesgo." 30 no. 1-3 (2016): 255-269.
- Castro Prieto Jessica y María José Andrade Núñez. "Public perception towards stray cats in old San Juan, Puerto Rico." 30 no. 1-3 (2016): 270-281.
- Charnes Molly, Kevin Marquardt, Rachele Carnes, Logan Marquardt y Padriac Quinn. "Moth diversity in the HJ Andrews experimental forest during the summer 2009." 26 no. 1-3 (2012): 27-33.
- Chenevert Justin, Audrey Haynes, Noah Citron y Gabriel Skeyrms. "Herbivory and leaf traits in *Cecropia schreberiana* along an elevation gradient in Luquillo experimental forest, Puerto Rico." 29 no. 1-3 (2015): 25-34.
- Citron Noah, Audrey Haynes, Justin Chenevert y Gabriel Skeyrms. "Herbivory and leaf traits in *Cecropia schreberiana* along an elevation gradient in Luquillo experimental forest, Puerto Rico." 29 no. 1-3 (2015): 25-34.
- Colón Yamily y Amabel Soto. "Proyecto ambiental promueve destrezas de trabajo en equipo en estudiantes de matemáticas." 30 no. 1-3 (2016): 172-193.
- Colón-Cortés Wanda, Ariel E. Lugo, Carmen M. Concepción, Luis E. Santiago-Acevedo, Tischa A. Muñoz-Erickson, Julio C. Verdejo Ortiz, Raúl Santiago-Bartolomei, Jimena Forero-Montaña, Christopher J. Nyth y Harold Manrique. "In search of an adaptive social-ecological approach to understanding tropical city." 26 no. 1-3 (2012): 121-134.
- Concepción Carmen M., Ariel E. Lugo, Luis E. Santiago-Acevedo, Tischa A. Muñoz-Erickson, Julio C. Verdejo Ortiz, Raúl Santiago-Bartolomei, Jimena Forero-Montaña, Christopher J. Nyth, Harold Manrique y Wanda Colón-Cortés. "In search of an adaptive social-ecological approach to understanding a tropical city." 26 no. 1-3 (2012): 121-134.
- Cooper Sharon, Andrew Moldenke, Marion Dresner, Sally Kirkpatrick y Kirk Soule. "A cross-site litter decomposition

- study with teacher-scientists partnerships.” 26 no. 1-3 (2012): 13-26.
- Correa Nicolás, Elvia Meléndez-Ackerman, Sofia Olivero Lora, Angélica Erazo, José Fontánez, Khrisia Torres, Yankiomy Hernández, Cristina Vilá, Elizabeth Díaz, Luis Santiago, Ray Rodríguez y José Seguinot. “UPR-igert’s agents of change Project: Best practices for interdisciplinary work.” 30 no. 1-3 (2016): 202-216.
- Courter Sienna, Jack Singer, Suzanne O’Connell, James Hall, Katharine Evans, Hichem Hadjeres y Dat Vu. “Effect of pollution on seagrass ecosystems in Guanica bay and Cabo Rojo, Puerto Rico.” 29 no. 1-3 (2015): 41-50.
- Cuevas Elvira, Ernesto Medina, Ariel E. Lugo, Oscar Abelleira y Jessica Fonseca da Silva. “Jobs bay mangroves revisited: Gas exchange, salinity, and nutrient relations.” 29 no. 1-3 (2015): 92-108.
- Dávila G., Barberena-Arias M.F., J. Ortiz-Zayas, C. Abad, G. Almodóvar, E. López, M. Rodríguez, M. Samó y L. Troche. “Comparación de la fauna de artrópodos terrestres entre pastizales y bosques dominados por el tulipán africano (*Spathodea campanulata*), en tres zonas del carso norteño en Puerto Rico.” 26 no. 1-3 (2012): 68-79.
- De Jesús Torres Luis O. “Organización y representación de gráfica: Proyecto basura cero.” 30 no. 1-3 (2016): 153-163.
- Del Río Joglar Sandra M., Michelle Borrero y Jorge Rodríguez Lara. “Educación ambiental informal: Un modelo para mejorar el desempeño en las pruebas puertorriqueñas de aprovechamiento académico.” 30 no. 1-3 (2016): 26-44.
- Díaz Berrios Tomás. “Aprendizaje basado en proyectos agro-escolares: Estrategia educativa para aprender modelos matemáticos.” 30 no. 1-3 (2016): 26-44.
- Díaz Elizabeth, Elvia Meléndez-Ackerman, Sofia Olivero Lora, Angélica Erazo, José Fontánez, Khrisia Torres, Yankiomy Hernández, Cristina Vilá, Nicolás Correa, Luis Santiago, Ray Rodríguez y José Seguinot. “UPR-igert’s agents of change Project: Best practices for interdisciplinary work.” 30 no. 1-3 (2016): 202-216.
- Díaz Stephanie, Noelle Hiam, Ama Essuman, Marjahn Finlayson y Achira Sheth – Shah. “Productivity indices from leaf chemistry: A study of pollution effects in Puerto Rican *Rhizophora mangle*.” 29 no. 1-3 (2015): 35-40.
- Dong Chuqiao y David Knorr. “Geochemical evidence for the origin of marine terrace soils in Northern Puerto Rico.” 29 no. 1-3 (2015): 15-24.
- Dresner Marion. “Using teachers’ quantitative models to capture changes in understanding resulting from research experiences.” 26 no. 1-3 (2012): 3-12.
- Dresner Marion, Andrew Moldenke, Sally Kirkpatric, Sharon Cooper y Kirk Soule. “A cross-site litter decomposition study with teacher-scientists partnerships.” 26 no. 1-3 (2012): 13-26.
- Duncombe Jenessa, Scott Zimmer y Jason Gross. “Heavy metal accumulation in brassica juncea grown on Puerto Rican serpentine soil.” 29 no. 1-3 (2015): 51-65.
- Erazo Angélica, Elvia Meléndez-Ackerman, Sofia Olivero Lora, José Fontánez, Khrisia Torres, Yankiomy Hernández, Cristina Vilá, Elizabeth Díaz, Nicolás Correa, Luis Santiago, Ray Rodríguez y José Seguinot. “UPR-igert’s agents of change Project: Best practices for interdisciplinary work.” 30 no. 1-3 (2016): 202-216.
- Essuman Ama, Noelle Hiam, Stephanie Díaz, Marjahn Finlayson y Achira Sheth – Shah. “Productivity indices from leaf chemistry: A study of pollution effects in Puerto Rican *Rhizophora mangle*.” 29 no. 1-3 (2015): 35-40.
- Evans Katharine, Jack Singer, Sienna Courter, Suzanne O’Connell, James Hall, Hichem Hadjeres y Dat Vu. “Effect of pollution on seagrass ecosystems in Guanica bay and Cabo Rojo, Puerto Rico.” 29 no. 1-3 (2015): 41-50.
- Fernández Nelsón, Juan F. Blanco y Johana M. Sarmiento. “Geografía de los ríos de Puerto Rico: Clasificación de series de caudal e implicaciones ecológicas.” 28 no. 1-3 (2014): 35-47.
- Finlayson Marjahn, Noelle Hiam, Stephanie Díaz, Ama Essuman, y Achira Sheth – Shah. “Productivity indices from leaf chemistry: A study of pollution effects in Puerto Rican *Rhizophora mangle*.” 29 no. 1-3 (2015): 35-40.
- Fonseca da Silva Jessica, Ernesto Medina, Elvira Cuevas, Ariel E. Lugo y Oscar Abelleira. “Jobs bay mangroves revisited: Gas exchange, salinity, and nutrient relations.” 29 no. 1-3 (2015): 92-108.
- Fontánez José, Elvia Meléndez-Ackerman, Sofia Olivero Lora, Angélica Erazo, Khrisia Torres, Yankiomy Hernández, Cristina Vilá, Elizabeth Díaz, Nicolás Correa, Luis Santiago, Ray Rodríguez y José Seguinot. “UPR-igert’s agents of change Project: Best practices for interdisciplinary work.” 30 no. 1-3 (2016): 202-216.
- Forero-Montaña Jimena, Ariel E. Lugo, Carmen M. Concepción, Luis E. Santiago-Acevedo, Tischa A. Muñoz-Erickson, Julio C. Verdejo Ortiz, Raúl Santiago-Bartolomei, Christopher J. Nytych, Harold Manrique y Wanda Colón-Cortés. “In search of an adaptive social-ecological approach to understanding a tropical city.” 26 no. 1-3 (2012): 121-134.
- Fortis Marta y Roxana Auccahualpa. “Efecto de intervención interdisciplinaria en la actitud hacia las ciencias y matemáticas.” 30 no. 1-3 (2016): 45-60.
- Fortis Marta, Milagros Bravo Vick, Michelle Borrero, y Pascua Padró Collazo. “Mejorando la educación stem a través de la investigación educativa.” 30 no. 1-3 (2016): 6-25.
- Nytych Christopher J., Jodany Fortuné, Molly M. Ramsey, Joel Meléndez, Mayra A. Sánchez García, Ana V. Arache, José A. Fontánez Pérez y Jorge R. Ortiz Zayas. “Investigating the water balance and quality of a tropical urban sewershed through collaborative learning.” 30 no. 1-3 (2016): 217-254.
- Furumo Paul, Johnny Lugo Vega, Luis Villanueva Cubero y Francisco J. Soto Santiago. “The governor’s beach house in playa el convento: A local environmental History to co-managing the northeast ecological corridor natural reserve values.” 30 no. 1-3 (2016): 312-329.
- González Miranda, Sally y Oscar J. Abelleira Martínez “El abandono agrícola reflejado en el ciudadano: Manejo de reforestación urbana.” 29 no. 1-3 (2015): 66-77.
- Gross Jason, Scott Zimmer y Jenessa Duncombe. “Heavy metal accumulation in *Brassica juncea* grown on Puerto Rican serpentine soil.” 29 no. 1-3 (2015): 51-65.
- Hadjeres Hichem, Katharine Evans, Jack Singer, Sienna Courter, Suzanne O’Connell, James Hall y Dat Vu. “Effect of pollution on seagrass ecosystems in Guanica bay and Cabo Rojo, Puerto Rico.” 29 no. 1-3 (2015): 41-50.
- Hall James, Jack Singer, Sienna Courter, Suzanne O’Connell, Katharine Evans, Hichem Hadjeres y Dat Vu. “Effect of pollution on seagrass ecosystems in Guanica bay and Cabo Rojo, Puerto Rico.” 29 no. 1-3 (2015): 41-50.

- Haynes Audrey, Justin Chenevert, Noah Citron y Gabriel Skyrms. "Herbivory and leaf traits in *Cecropia schreberiana* along an elevation gradient in Luquillo experimental forest, Puerto Rico." 29 no. 1-3 (2015): 25-34.
- Heartsill – Scalley Tamara y Ariel E. Lugo. "Cerro el faro: A critical component for the conservation of natural resources of northeastern Puerto Rico." 29 no. 1-3 (2015): 130-133.
- Heartsill – Scalley Tamara, Elliot López Machado y Keyla Soto Hidalgo. "Composición y estructura de un bosque tropical urbano en el karso norteño de Puerto Rico." 26 no. 1-3 (2012): 54-67.
- Hernández Myrna. "Students' academic achievement in chemistry after implementing a pbl strategy." 30 no. 1-3 (2016): 61-76.
- Hernández Yankiomy, Elvia Meléndez-Ackerman, Sofia Olivero Lora, Angélica Erazo, José Fontánez, Khrisia Torres, Cristina Vilá, Elizabeth Díaz, Nicolás Correa, Luis Santiago, Ray Rodríguez y José Seguinot. "UPR-igert's agents of change Project: Best practices for interdisciplinary work." 30 no. 1-3 (2016): 202-216.
- Hiam Noelle, Stephanie Díaz, Ama Essuman, Marjahn Finlayson y Achira Sheth – Shah. "Productivity indices from leaf chemistry: A study of pollution effects in Puerto Rican *Rhizophora mangle*." 29 no. 1-3 (2015): 35-40.
- Jiménez Olga y Marisol Samó. "Diversidad de anfibios y reptiles en un bosque tropical urbano." 26 no. 1-3 (2012): 80-86.
- Kirkpatrick Sally y Andrew Moldenke. "Differences in decomposition of leaf litter from nitrogen-fixer and non-nitrogen-fixer plants in a cross site litter experiment conducted at the HJ Andrews experimental forest, Oregon, USA." 26 no. 1-3 (2012): 39-43.
- Kirkpatrick Sally, Andrew Moldenke, Marion Dresner, Sharon Cooper y Kirk Soule. "A cross-site litter decomposition study with teacher-scientists partnerships." 26 no. 1-3 (2012): 13-26.
- Knorr David y Chuqiao Dong. "Geochemical evidence for the origin of marine terrace soils in Northern Puerto Rico." 29 no. 1-3 (2015): 15-24.
- Libby Lazare S., Sarah E. Bessey y Ellen W. Alexander. "Petrology, geochemistry, and morphology of the lapa lava pillow basalts, Salinas, Puerto Rico." 29 no. 1-3 (2015): 2-14.
- López E., M.F. Barberena-Arias, J. Ortiz-Zayas, C. Abad, G. Almodóvar, M. Rodríguez, M. Samó, G. Dávila y L. Troche. "Comparación de la fauna de artrópodos terrestres entre pastizales y bosques dominados por el tulipán africano (*Spathodea campanulata*), en tres zonas del carso norteño en Puerto Rico." 26 no. 1-3 (2012): 68-79.
- López Machado Elliot, Keyla Soto Hidalgo y Tamara Heartsill – Scalley. "Composición y estructura de un bosque tropical urbano en el karso norteño de Puerto Rico." 26 no. 1-3 (2012): 54-67.
- Lugo Ariel E. "La cobertura de terreno: El próximo conflicto ambiental." 28 no. 1-3 (2014): 48-49.
- Lugo Ariel E. "Reflections after five years of San Juan ultra." 28 no. 1-3 (2014): 31-34.
- Lugo Ariel E. "The caribbean and the Anthropocene." 29 no. 1-3 (2015): 134-137.
- Lugo Ariel E., Carmen M. Concepción, Luis E. Santiago-Acevedo, Tischa A. Muñoz-Erickson, Julio C. Verdejo Ortiz, Raúl Santiago-Bartolomei, Jimena Forero-Montaña, Christopher J. Nytych, Harold Manrique y Wanda Colón-Cortés. "In search of an adaptive social-ecological approach to understanding a tropical city." 26 no. 1-3 (2012): 121-134.
- Lugo Ariel E., Christopher J. Nytych y Molly Ramsey. "An analysis of US army corps of engineers documents supporting the channelization of the Río Piedras." 27 no. 1-3 (2013): 4-72.
- Lugo Ariel E. y Gabriela M. Morales. "Structure, growth rates, and carbon sequestration of an urban forest in Río Piedras, Puerto Rico." 29 no. 1-3 (2015): 78-91.
- Lugo Ariel E. y Tamara Heartsill Scalley. "Cerro el faro: A critical component for the conservation of natural resources of northeastern Puerto Rico." 29 no. 1-3 (2015): 130-133.
- Lugo Vega Johnny, Luis Villanueva Cubero, Francisco J. Soto Santiago y Paul Furumo. "The governor's beach house in playa el convento: A local environmental History to co-managing the northeast ecological corridor natural reserve values." 30 no. 1-3 (2016): 312-329.
- Manrique Harold, Ariel E. Lugo, Carmen M. Concepción, Luis E. Santiago-Acevedo, Tischa A. Muñoz-Erickson, Julio C. Verdejo Ortiz, Raúl Santiago-Bartolomei, Jimena Forero-Montaña, Christopher J. Nytych y Wanda Colón-Cortés. "In search of an adaptive social-ecological approach to understanding a tropical city." 26 no. 1-3 (2012): 121-134.
- Marquardt, Kevin, Molly Charnes, Rachelle Carnes, Logan Marquardt y Padriac Quinn. "Moth diversity in the HJ Andrews experimental forest during the summer 2009." 26 no. 1-3 (2012): 27-33.
- Marquardt Logan, Kevin Marquardt, Molly Charnes, Rachelle Carnes y Padriac Quinn. "Moth diversity in the HJ Andrews experimental forest during the summer 2009." 26 no. 1-3 (2012): 27-33.
- Marrero Torrado José y Frank H. Wadsworth. "The decade of tree planting in el Yunque." 28 no. 1-3 (2014): 24-26.
- Marrero Torrado José y Frank H. Wadsworth. "The restoration of the insular forest mangroves." 28 no. 1-3 (2014): 27-28.
- Medina Ernesto, Elvira Cuevas, Ariel E. Lugo, Oscar Abelleira y Jessica Fonseca da Silva. "Jobos bay mangroves revisited: Gas exchange, salinity, and nutrient relations." 29 no. 1-3 (2015): 92-108.
- Meléndez-Ackerman Elvia, Sofia Olivero Lora, Angélica Erazo, José Fontánez, Khrisia Torres, Yankiomy Hernández, Cristina Vilá, Elizabeth Díaz, Nicolás Correa, Luis Santiago, Ray Rodríguez y José Seguinot. "UPR-igert's agents of change Project: Best practices for interdisciplinary work." 30 no. 1-3 (2016): 202-216.
- Mercado Díaz Joel A. "La flora del transecto social-ecológico del karso norteño." 28 no. 1-3 (2014): 50-68.
- Moldenke Andrew, Marion Dresner, Sally Kirkpatrick, Sharon Cooper y Kirk Soule. "A cross-site litter decomposition study with teacher-scientists partnerships." 26 no. 1-3 (2012): 13-26.
- Moldenke Andrew y Sally Kirkpatrick. "Differences in decomposition of leaf litter from nitrogen-fixer and non-nitrogen-fixer plants in a cross site litter experiment conducted at the HJ Andrews experimental forest, Oregon, USA." 26 no. 1-3 (2012): 39-43.
- Morales Gabriela M. y Ariel E. Lugo. "Structure, growth rates, and carbon sequestration of an urban forest in Río Piedras, Puerto Rico." 29 no. 1-3 (2015): 78-91.
- Nieves-Rodríguez Eliezer y Cándida Rodríguez-Colón. "Centro ambiental Santa Ana: Oportunidades para la educación, interpretación y la investigación de nuestra naturaleza." 26 no. 1-3 (2012): 44-53.

- Nytch Christopher J., Jodany Fortuné, Molly M. Ramsey, Joel Meléndez, Mayra A. Sánchez García, Ana V. Arache, José A. Fontáñez Pérez y Jorge R. Ortiz Zayas. "Investigating the water balance and quality of a tropical urban sewershed through collaborative learning." 30 no. 1-3 (2016): 217-254.
- Nytch Christopher J., Ariel E. Lugo, Carmen M. Concepción, Luis E. Santiago-Acevedo, Tisha A. Muñoz-Erickson, Julio C. Verdejo Ortiz, Raúl Santiago-Bartolomei, Jimena Forero-Montaña, Harold Manrique y Wanda Colón-Cortés. "In search of an adaptive social-ecological approach to understanding a tropical city." 26 no. 1-3 (2012): 121-134.
- Nytch Christopher J., Ariel E. Lugo y Molly Ramsey. "An analysis of US army corps of engineers documents supporting the channelization of the Río Piedras." 27 no. 1-3 (2013): 4-72.
- O'Connell Suzanne, Jack Singer, Sienna Courter, James Hall, Katharine Evans, Hichem Hadjeres y Dat Vu. "Effect of pollution on seagrass ecosystems in Guanica bay and Cabo Rojo, Puerto Rico." 29 no. 1-3 (2015): 41-50.
- Olivero Lora Sofia, Elvia Meléndez-Ackerman, Angélica Erazo, José Fontáñez, Khria Torres, Yankiomy Hernández, Cristina Vilá, Elizabeth Díaz, Nicolás Correa, Luis Santiago, Ray Rodríguez y José Seguinot. "UPR-igert's agents of change Project: Best practices for interdisciplinary work." 30 no. 1-3 (2016): 202-216.
- Ortiz Zayas Jorge R. y María Fernanda Barberena-Arias. "La complejidad ecológica de un bosque tropical urbano." 26 no. 1-3 (2012): 109-120.
- Ortiz Zayas Jorge R. y Marianne Cartagena Colón. "Los ahogamientos en ríos en Puerto Rico: Sus causas y factores de riesgo." 30 no. 1-3 (2016): 255-269.
- Ortiz-Zayas J., M.F. C. Barberena-Arias, Abad G. Almodóvar, E. López, M. Rodríguez, M. Samó, G. Dávila y L. Troche. "Comparación de la fauna de artrópodos terrestres entre pastizales y bosques dominados por el tulipán africano (*Spathodea campanulata*), en tres zonas del carso norteño en Puerto Rico." 26 no. 1-3 (2012): 68-79.
- Padró Collazo Pascua, Milagros Bravo Vick, Michelle Borrero y Marta Fortis. "Mejorando la educación stem a través de la investigación educativa." 30 no. 1-3 (2016): 6-25.
- Pérez Lymarie y Carmen Velázquez. "Investigación acción: ¡Estadísticas en la basura!" 30 no. 1-3 (2016): 164-171.
- Quinn Padriac, Kevin Marquardt, Molly Charnes, Rachelle Carnes y Logan Marquardt. "Moth diversity in the HJ Andrews experimental forest during the summer 2009." 26 no. 1-3 (2012): 27-33.
- Ramsey Molly, Ariel E. Lugo y Christopher J. Nyth. "An analysis of US army corps of engineers documents supporting the channelization of the Río Piedras." 27 no. 1-3 (2013): 4-72.
- Rivera-De Jesús Wilmer O. y Ivelisse Torres-Quintana. "Diversidad de murciélagos en el bosque tropical urbano Santa Ana: Una perspectiva desde la teoría de biogeografía de islas." 26 no. 1-3 (2012): 98-108.
- Rodríguez M., M.F. Barberena-Arias, J. Ortiz-Zayas, C. Abad, G. Almodóvar, E. López, M. Samó, G. Dávila y L. Troche. "Comparación de la fauna de artrópodos terrestres entre pastizales y bosques dominados por el tulipán africano (*Spathodea campanulata*), en tres zonas del carso norteño en Puerto Rico." 26 no. 1-3 (2012): 68-79.
- Rodríguez Harrison, Minnette. "Laboratorio in situ del ciclo de vida de la mariposa *Danaus plexippus*." 30 no. 1-3 (2016): 194-201.
- Rodríguez Ray, Elvia Meléndez-Ackerman, Sofia Olivero Lora, Angélica Erazo, José Fontáñez, Khria Torres, Yankiomy Hernández, Cristina Vilá, Elizabeth Díaz, Nicolás Correa, Luis Santiago y José Seguinot. "UPR-igert's agents of change Project: Best practices for interdisciplinary work." 30 no. 1-3 (2016): 202-216.
- Rodríguez-Colón Cándida y Eliezer Nieves-Rodríguez. "Centro ambiental Santa Ana: Oportunidades para la educación, interpretación y la investigación de nuestra naturaleza." 26 no. 1-3 (2012): 44-53.
- Rodríguez Lara Jorge, Sandra M. Del Río Joglar y Michelle Borrero. "Educación ambiental informal: Un modelo para mejorar el desempeño en las pruebas puertorriqueñas de aprovechamiento académico." 30 no. 1-3 (2016): 26-44.
- Ruiz Méndez Carmen M. "Agua: Fuente de aprendizaje significativo." 30 no. 1-3 (2016): 77-85.
- Samó M., M.F. Barberena-Arias, J. Ortiz-Zayas, C. Abad, G. Almodóvar, E. López, M. Rodríguez, G. Dávila y L. Troche. "Comparación de la fauna de artrópodos terrestres entre pastizales y bosques dominados por el tulipán africano (*Spathodea campanulata*), en tres zonas del carso norteño en Puerto Rico." 26 no. 1-3 (2012): 68-79.
- Samó Marisol y Olga Jiménez. "Diversidad de anfibios y reptiles en un bosque tropical urbano." 26 no. 1-3 (2012): 80-86.
- Sarmiento Johana M., Juan F. Blanco y Nelsón Fernández. "Geografía de los ríos de Puerto Rico: Clasificación de series de caudal e implicaciones ecológicas." 28 no. 1-3 (2014): 35-47.
- Santiago Luis, Elvia Meléndez-Ackerman, Sofia Olivero Lora, Angélica Erazo, José Fontáñez, Khria Torres, Yankiomy Hernández, Cristina Vilá, Elizabeth Díaz, Nicolás Correa, Ray Rodríguez y José Seguinot. "UPR-igert's agents of change Project: Best practices for interdisciplinary work." 30 no. 1-3 (2016): 202-216.
- Santiago-Acevedo Luis E., Ariel E. Lugo, Carmen M. Concepción, Tisha A. Muñoz-Erickson, Julio C. Verdejo Ortiz, Raúl Santiago-Bartolomei, Jimena Forero-Montaña, Christopher J. Nyth, Harold Manrique y Wanda Colón-Cortés. "In search of an adaptive social-ecological approach to understanding tropical city." 26 no. 1-3 (2012): 121-134.
- Santiago-Bartolomei Raúl, Ariel E. Lugo, Carmen M. Concepción, Luis E. Santiago-Acevedo, Tisha A. Muñoz-Erickson, Julio C. Verdejo Ortiz, Jimena Forero-Montaña, Christopher J. Nyth, Harold Manrique y Wanda Colón-Cortés. "In search of an adaptive social-ecological approach to understanding tropical city." 26 no. 1-3 (2012): 121-134.
- Seguinot José, Elvia Meléndez-Ackerman, Sofia Olivero Lora, Angélica Erazo, José Fontáñez, Khria Torres, Yankiomy Hernández, Cristina Vilá, Elizabeth Díaz, Nicolás Correa, Luis Santiago y Ray Rodríguez. "UPR-igert's agents of change Project: Best practices for interdisciplinary work." 30 no. 1-3 (2016): 202-216.
- Sheth – Shah Achira, Noelle Hiam, Stephanie Díaz, Ama Essuman, y Marjahn Finlayson. "Productivity indices from leaf chemistry: A study of pollution effects in Puerto Rican *Rhizophora mangle*." 29 no. 1-3 (2015): 35-40.
- Singer Jack, Sienna Courter, Suzanne O'Connell, James Hall, Katharine Evans, Hichem Hadjeres y Dat Vu. "Effect of pollution on seagrass ecosystems in Guanica bay and Cabo Rojo, Puerto Rico." 29 no. 1-3 (2015): 41-50.

- Skyrms Gabriel, Audrey Haynes, Justin Chenevert y Noah Citron. "Herbivory and leaf traits in *Cecropia schreberiana* along an elevation gradient in Luquillo experimental forest, Puerto Rico." 29 no. 1-3 (2015): 25-34.
- Soto Amabel y Yamily Colón. "Proyecto ambiental promueve destrezas de trabajo en equipo en estudiantes de matemáticas." 30 no. 1-3 (2016): 172-193.
- Soto Hidalgo Keyla, Elliot López Machado y Tamara Heartsill – Scalley. "Composición y estructura de un bosque tropical urbano en el karso norteño de Puerto Rico." 26 no. 1-3 (2012): 54-67.
- Soto Santiago Francisco J., Johnny Lugo Vega, Luis Villanueva Cubero y Paul Furumo. "The governor's beach house in playa el convento: A local environmental History to co-managing the northeast ecological corridor natural reserve values." 30 no. 1-3 (2016): 312-329.
- Soule Kirk, Andrew Moldenke, Marion Dresner, Sally Kirkpatric y Sharon Cooper. "A cross-site litter decomposition study with teacher-scientists partnerships." 26 no. 1-3 (2012): 13-26.
- Tischa A. Muñoz-Erickson, Ariel E. Lugo, Carmen M. Concepción, Luis E. Santiago-Acevedo, Julio C. Verdejo Ortiz, Raúl Santiago-Bartolomei, Jimena Forero-Montaña, Christopher J. Nytch, Harold Manrique y Wanda Colón-Cortés. "In search of an adaptive social-ecological approach to understanding a tropical city." 26 no. 1-3 (2012): 121-134.
- Torres Khriaia, Elvia Meléndez-Ackerman, Sofia Olivero Lora, Angélica Erazo, José Fontánez, Yankiomy Hernández, Cristina Vilá, Elizabeth Díaz, Nicolás Correa, Luis Santiago, Ray Rodríguez y José Seguinot. "UPR-igert's agents of change Project: Best practices for interdisciplinary work." 30 no. 1-3 (2016): 202-216.
- Troche L., M.F. Barberena-Arias, J. Ortiz-Zayas, C. Abad, G. Almodóvar, E. López, M. Rodríguez, M. Samó y G. Dávila. "Comparación de la fauna de artrópodos terrestres entre pastizales y bosques dominados por el tulipán africano (*Spathodea campanulata*), en tres zonas del carso norteño en Puerto Rico." 26 no. 1-3 (2012): 68-79.
- Torres-Quintana Ivelisse y Rivera-De Jesús Wilmer O. "Diversidad de murciélagos en el bosque tropical urbano Santa Ana: Una perspectiva desde la teoría de biogeografía de islas." 26 no. 1-3 (2012): 98-108.
- Vega Fontánez Hagmel A. "Bosque urbano comunitario de capetillo: Un estudio exploratorio sobre comunidades urbanas y sus espacios verdes." 30 no. 1-3 (2016): 282-295.
- Velázquez Carmen y Lymarie Pérez. "Investigación acción: ¡Estadísticas en la basura!" 30 no. 1-3 (2016): 164-171.
- Verdejo Ortiz Julio C., Ariel E. Lugo, Carmen M. Concepción, Luis E. Santiago-Acevedo, Tischa A. Muñoz-Erickson, Raúl Santiago-Bartolomei, Jimena Forero-Montaña, Christopher J. Nytch, Harold Manrique y Wanda Colón-Cortés. "In search of an adaptive social-ecological approach to understanding tropical city." 26 no. 1-3 (2012): 121-134.
- ViláCristina, Elvia Meléndez-Ackerman, Sofia Olivero Lora, Angélica Erazo, José Fontánez, Khriaia Torres, Yankiomy Hernández, Elizabeth Díaz, Nicolás Correa, Luis Santiago, Ray Rodríguez y José Seguinot. "UPR-igert's agents of change Project: Best practices for interdisciplinary work." 30 no. 1-3 (2016): 202-216.
- Villanueva Cubero Luis, Johnny Lugo Vega, Francisco J. Soto Santiago y Paul Furumo. "The governor's beach house in playa el convento: A local environmental History to co-managing the northeast ecological corridor natural reserve values." 30 no. 1-3 (2016): 312-329.
- Vu Dat, Jack Singer, Sienna Courter, Suzanne O'Connell, James Hall, Katharine Evans y Hichem Hadjeres. "Effect of pollution on seagrass ecosystems in Guanica bay and Cabo Rojo, Puerto Rico." 29 no. 1-3 (2015): 41-50.
- Wadsworth Frank H. "The wood of the cordillera central, lose it or use it." 28 no. 1-3 (2014): 29-30.
- Wadsworth Frank H. y José Marrero Torrado. "The decade of tree planting in el Yunque." 28 no. 1-3 (2014): 24-26.
- Wadsworth Frank H. y José Marrero Torrado. "The restoration of the insular forest mangroves." 28 no. 1-3 (2014): 27-28.
- Watlington Linares Francisco. "El guam-e del culebrón asechando al presunto implicado." 29 no. 1-3 (2015): 109-129.
- Watlington Linares Francisco. "La ecología de invasiones: Un paradigma biogeográfico falaz." 28 no. 1-3 (2014): 2-15.
- Watlington Francisco. "Los cañaverales del pasado y las agroindustrias del futuro." 29 no. 1-3 (2015): 138-139.
- Zimmer Scott, Jenessa Duncombe y Jason Gross. "Heavy metal accumulation in *Brassica juncea* grown on Puerto Rican serpentine soil." 29 no. 1-3 (2015): 51-65.

ÍNDICE DE TÍTULOS

A CROSS-SITE LITTER DECOMPOSITION STUDY WITH TEACHER-SCIENTISTS PARTNERSHIPS

Moldenke Andrew, Marion Dresner, Sally Kirkpatric, Sharon Cooper y Kirk Soule. 26 no. 1-3 (2012): 13-26.

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

Aponte Ramírez Jadira. 30 no. 1-3 (2016): 86-106.

AN ANALYSIS OF US ARMY CORPS OF ENGINEERS DOCUMENTS SUPPORTING THE CHANNELIZATION OF THE RÍO PIEDRAS

Lugo Ariel E., Christopher J. Nytch y Molly Ramsey. 27 no. 1-3 (2013): 4-72.

AGUA: FUENTE DE APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO

Ruiz Méndez Carmen M. 30 no. 1-3 (2016): 77-85.

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

Díaz Berrios Tomás. 30 no. 1-3 (2016): 26-44.

BOSQUE URBANO COMUNITARIO DE CAPETILLO: UN ESTUDIO EXPLORATORIO SOBRE COMUNIDADES URBANAS Y SUS ESPACIOS VERDES

Vega Fontánez Hagmel A. 30 no. 1-3 (2016): 282-295.

CENTRO AMBIENTAL SANTA ANA: OPORTUNIDADES PARA LA EDUCACIÓN, INTERPRETACIÓN Y LA INVESTIGACIÓN DE NUESTRA NATURALEZA

Rodríguez-Colón Cándida y Eliezer Nieves-Rodríguez. 26 no. 1-3 (2012): 44-53.

CERRO EL FARO: A CRITICAL COMPONENT FOR THE CONSERVATION OF NATURAL RESOURCES OF NORTHEASTERN PUERTO RICO

Lugo Ariel E. y Tamara Heartsill Scalley. 29 no. 1-3 (2015): 130-133.

COMPARACIÓN DE LA FAUNA DE ARTRÓPODOS TERRESTRES ENTRE PASTIZALES Y BOSQUES DOMINADOS POR EL TULIPÁN AFRICANO (*SPATHODEA CAMPANULATA*), EN TRES ZONAS DEL KARSO NORTEÑO EN PUERTO RICO

Barberena-Arias M.F., J. Ortiz-Zayas, C. Abad, G. Almodóvar, E. López, M. Rodríguez, M. Samó, G. Dávila y L. Troche. 26 no. 1-3 (2012): 68-79.

COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE UN BOSQUE TROPICAL URBANO EN EL KARSO NORTEÑO DE PUERTO RICO

López Machado Elliot, Keyla Soto Hidalgo y Tamara Heartsill – Scalley. 26 no. 1-3 (2012): 54-67.

DIFFERENCES IN DECOMPOSITION OF LEAF LITTER FROM NITROGEN-FIXER AND NON-NITROGEN-FIXER PLANTS IN A CROSS SITE LITTER EXPERIMENT CONDUCTED AT THE HJ ANDREWS EXPERIMENTAL FOREST, OREGON, USA

Kirkpatrick Sally y Andrew Moldenke. 26 no. 1-3 (2012): 39-43.

DIVERSIDAD DE ANFIBIOS Y REPTILES EN UN BOSQUE TROPICAL URBANO

Jiménez Olga y Marisol Samó. 26 no. 1-3 (2012): 80-86.

DIVERSIDAD DE MURCIÉLAGOS EN EL BOSQUE TROPICAL URBANO SANTA ANA: UNA PERSPECTIVA DESDE LA TEORÍA DE BIOGEOGRAFÍA DE ISLAS

Rivera-De Jesús Wilmer O. y Ivelisse Torres-Quintana. 26 no. 1-3 (2012): 98-108.

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

Del Río Joglar, Sandra M., Michelle Borrero y Jorge Rodríguez Lara. 30 no. 1-3 (2016): 26-44.

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

Fortis Marta y Roxana Auccahuallpa. 30 no. 1-3 (2016): 45-60.

EFFECT OF POLLUTION ON SEAGRASS ECOSYSTEMS IN GUANICA BAY AND CABO ROJO, PUERTO RICO

Singer Jack, Sienna Courter, Suzanne O'Connell, James Hall, Katharine Evans, Hichem Hadjeres y Dat Vu. 29 no. 1-3 (2015): 41-50.

EL ABANDONO AGRÍCOLA REFLEJADO EN EL CITA-DINO: MANEJO DE REFORESTACIÓN URBANA

Abelleira Martínez Oscar J. y Sally González Miranda. 29 no. 1-3 (2015): 66-77.

EL GUAM-E DEL CULEBRÓN ASECHANDO AL PRE-SUNTO IMPLICADO

Watlington Linares Francisco. 29 no. 1-3 (2015): 109-129.

INVESTIGACIÓN ACCIÓN: ¡ESTADÍSTICAS EN LA BASURA!

Velázquez Carmen y Lymarie Pérez. 30 no. 1-3 (2016): 164-171.

GEOCHEMICAL EVIDENCE FOR THE ORIGIN OF MARINE TERRACE SOILS IN NORTHERN PUERTO RICO

Dong, Chuqiao y David Knorr. 29 no. 1-3 (2015): 15-24.

GEOGRAFÍA DE LOS RÍOS DE PUERTO RICO: CLASIFICACIÓN DE SERIES DE CAUDAL E IMPLICACIONES ECOLÓGICAS

Blanco Juan F., Johana M. Sarmiento y Nelsón Fernández. 28 no. 1-3 (2014): 35-47.

GETTING EDGY: COMPARING POPULATIONS OF ARTHROPODS ACROSS THE FOREST/MEADOW ECOTONE IN THE HJ ANDREWS EXPERIMENTAL FOREST, OREGON

Archibald Wendy. 26 no. 1-3 (2012): 34-38.

HEAVY METAL ACCUMULATION IN *BRASSICA JUNCEA* GROWN ON PUERTO RICAN SERPENTINE SOIL

Zimmer Scott, Jenessa Duncombe y Jason Gross. 29 no. 1-3 (2015): 51-65.

HERBIVORY AND LEAF TRAITS IN *CECROPIA SCHREBERIANA* ALONG AN ELEVATION GRADIENT IN LUQUILLO EXPERIMENTAL FOREST, PUERTO RICO

Haynes Audrey, Justin Chenevert, Noah Citron y Gabriel Skyrms. 29 no. 1-3 (2015): 25-34.

IN SEARCH OF AN ADAPTIVE SOCIAL-ECOLOGICAL APPROACH TO UNDERSTANDING TROPICAL CITY

Lugo Ariel E., Carmen M. Concepción, Luis E. Santiago-Acevedo, Tischa A. Muñoz-Erickson, Julio C. Verdejo Ortiz, Raúl Santiago-Bartolomei, Jimena Forero-Montaña, Christopher J. Nyth, Harold Manrique y Wanda Colón-Cortés. 26 no. 1-3 (2012): 121-134.

INVESTIGATING THE WATER BALANCE AND QUALITY OF A TROPICAL URBAN SEWERSSHED THROUGH COLLABORATIVE LEARNING

Nyth Christopher J., Jodany Fortuné, Molly M. Ramsey, Joel Meléndez, Mayra A. Sánchez García, Ana V. Arache, José A. Fontánez Pérez y Jorge R. Ortiz Zayas. 30 no. 1-3 (2016): 217-254.

JOBOS BAY MANGROVES REVISITED: GAS EXCHANGE, SALINITY, AND NUTRIENT RELATIONS

Medina Ernesto, Elvira Cuevas, Ariel E. Lugo, Oscar Abelleira y Jessica Fonseca da Silva. 29 no. 1-3 (2015): 92-108.

LA COBERTURA DE TERRENO: EL PRÓXIMO CONFLICTO AMBIENTAL

Lugo Ariel E. 28 no. 1-3 (2014): 48-49.

LA COMPLEJIDAD ECOLÓGICA DE UN BOSQUE TROPICAL URBANO

Ortiz Zayas Jorge R. y María Fernanda Barberena-Arias. 26 no. 1-3 (2012): 109-120.

LA COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD DE AVES EN UN BOSQUE TROPICAL URBANO

Abad Clara. 26 no. 1-3 (2012): 87-97.

LA ECOLOGÍA DE INVASIONES: UN PARADIGMA BIOGEOGRÁFICO FALAZ

Watlington Linares Francisco. 28 no. 1-3 (2014): 2-15.

LA FLORA DEL TRANSECTO SOCIAL-ECOLÓGICO DEL KARSO NORTEÑO

Mercado Díaz Joel A. 28 no. 1-3 (2014): 50-68.

LABORATORIO *IN SITU* DEL CICLO DE VIDA DE LA MARIPOSA *DANAUS PLEXIPPUS*

Rodríguez Harrison Minnette. 30 no. 1-3 (2016): 194-201.

LOS AHOGAMIENTOS EN RÍOS EN PUERTO RICO: SUS CAUSAS Y FACTORES DE RIESGO

Cartagena Colón Marianne y Jorge R. Ortiz Zayas. 30 no. 1-3 (2016): 255-269.

LOS CAÑAVERALES DEL PASADO Y LAS AGROINDUSTRIAS DEL FUTURO

Watlington Francisco 29 no. 1-3 (2015): 138-139.

MEJORANDO LA EDUCACIÓN STEM A TRAVÉS DE LA INVESTIGACIÓN EDUCATIVA

Borrero Michelle, Milagros Bravo Vick, Marta Fortis y Pascua Padró Collazo. 30 no. 1-3 (2016): 6-25.

MOTH DIVERSITY IN THE HJ ANDREWS EXPERIMENTAL FOREST DURING THE SUMMER 2009

Marquardt, Kevin, Molly Charnes, Rachel Carnes, Logan Marquardt y Padriac Quinn. 26 no. 1-3 (2012): 27-33.

ORGANIZACIÓN Y REPRESENTACIÓN DE GRÁFICA: PROYECTO BASURA CERO

De Jesús Torres Luis O. 30 no. 1-3 (2016): 153-163.

PETROLOGY, GEOCHEMISTRY, AND MORPHOLOGY OF THE LAVA LAVA PILLOW BASALTS, SALINAS, PUERTO RICO

Bessey, Sarah E., Ellen W. Alexander y S. Libby Lazare. 29 no. 1-3 (2015): 2-14.

POR CIENTO DE CENIZAS EN LA FLORA EPIFÍTICA DE *PRESTOEIA MONTANA*

Báez Carmen L. 28 no. 1-3 (2014): 16-23.

PRODUCTIVITY INDICES FROM LEAF CHEMISTRY: A STUDY OF POLLUTION EFFECTS IN PUERTO RICAN *RHIZOPHORA MANGLE*

Hiam Noelle Stephanie Díaz, Ama Essuman, Marjahn Finlayson y Achira Sheth – Shah. 29 no. 1-3 (2015): 35-40.

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

Colón Yamily y Amabel Soto. 30 no. 1-3 (2016): 172-193.

PUBLIC PERCEPTION TOWARDS STRAY CATS IN OLD SAN JUAN, PUERTO RICO

Castro Prieto Jessica y María José Andrade Núñez. 30 no. 1-3 (2016): 270-281.

REFLECTIONS AFTER FIVE YEARS OF SAN JUAN ULTRA

Lugo Ariel E. 28 no. 1-3 (2014): 31-34.

STRUCTURE, GROWTH RATES, AND CARBÓN SEQUESTRATION OF AN URBAN FOREST IN RÍO PIEDRAS, PUERTO RICO

Morales Gabriela M. y Ariel E. Lugo. 29 no. 1-3 (2015): 78-91.

STUDENTS' ACADEMIC ACHIEVEMENT IN CHEMISTRY AFTER IMPLEMENTING A PBL STRATEGY

Hernández Myrna. 30 no. 1-3 (2016): 61-76.

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

Beltrán Morales Sandra. 30 no. 1-3 (2016): 107-126.

THE CARIBBEAN AND THE ANTHROPOCENE

Lugo Ariel E. 29 no. 1-3 (2015): 134-137.

THE DECADE OF TREE PLANTING IN EL YUNQUE

Marrero Torrado José y Frank H. Wadsworth. 28 no. 1-3 (2014): 24-26.

THE GOVERNOR'S BEACH HOUSE IN PLAYA EL CONVENTO: A LOCAL ENVIRONMENTAL HISTORY TO CO-MANAGING THE NORTHEAST ECOLOGICAL CORRIDOR NATURAL RESERVE VALUES

Lugo Vega Johnny, Luis Villanueva Cubero, Francisco J. Soto Santiago y Paul Furumo. 30 no. 1-3 (2016): 312-329.

THE RESTORATION OF THE INSULAR FOREST MANGROVES

Marrero Torrado José y Frank H. Wadsworth. 28 no. 1-3 (2014): 27-28.

THE WOOD OF THE CORDILLERA CENTRAL, LOSE IT OR USE IT

Wadsworth Frank H. 28 no. 1-3 (2014): 29-30.

TEORIA TRANSDISCIPLINARIA AL SERVICIO DE LOS MÁS VULNERABLES: ESTUDIO DE CASO DEL RÍO MAYEYES, PUERTO RICO

Alicea Martínez Adail, Nora Álvarez Berrios y Natalia B. Álvarez Negrón. 30 no. 1-3 (2016): 296-311.

UPR-IGERT'S AGENTS OF CHANGE PROJECT: BEST PRACTICES FOR INTERDISCIPLINARY WORK

Meléndez-Ackerman Elvia, Sofia Olivero Lora, Angélica Erazo, José Fontánez, Khria Torres, Yankiomy Hernández, Cristina Vilá, Elizabeth Díaz, Nicolás Correa, Luis Santiago, Ray Rodríguez y José Seguinot. 30 no. 1-3 (2016): 202-216.

USING TEACHERS' QUANTITATIVE MODELS TO CAPTURE CHANGES IN UNDERSTANDING RESULTING FROM RESEARCH EXPERIENCES

Dresner Marion. 26 no. 1-3 (2012): 3-12.

ÍNDICE DE MATERIAS

AGENTES DE CAMBIO

UPR-IGERT'S AGENTS OF CHANGE PROJECT: BEST PRACTICES FOR INTERDISCIPLINARY WORK

Meléndez-Ackerman Elvia, Sofia Olivero Lora, Angélica Erazo, José Fontánez, Khria Torres, Yankiomy Hernández, Cristina Vilá, Elizabeth Díaz, Nicolás Correa, Luis Santiago, Ray Rodríguez y José Seguinot. 30 no. 1-3 (2016): 202-216.

AHOGAMIENTO EN RÍOS

LOS AHOGAMIENTOS EN RÍOS EN PUERTO RICO: SUS CAUSAS Y FACTORES DE RIESGO

Cartagena Colón Marianne y Jorge R. Ortiz Zayas. 30 no. 1-3 (2016): 255-269.

ANFIBIOS Y REPTILES

DIVERSIDAD DE ANFIBIOS Y REPTILES EN UN BOSQUE TROPICAL URBANO

Jiménez Olga y Marisol Samó. 26 no. 1-3 (2012): 80-86.

APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTO

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

Aponte Ramírez Jadira. 30 no. 1-3 (2016): 86-106.

AGUA: FUENTE DE APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO

Ruiz Méndez Carmen M. 30 no. 1-3 (2016): 77-85.

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

Díaz Berrios Tomás. 30 no. 1-3 (2016): 26-44.

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

Fortis Marta y Roxana Auccahualpa. 30 no. 1-3 (2016): 45-60.

INVESTIGACIÓN ACCIÓN: ¿ESTADÍSTICAS EN LA BASURA!

Velázquez Carmen y Lymarie Pérez. 30 no. 1-3 (2016): 164-171.

ORGANIZACIÓN Y REPRESENTACIÓN DE GRÁFICA: PROYECTO BASURA CERO

De Jesús Torres Luis O. 30 no. 1-3 (2016): 153-163.

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

Colón Yamily y Amabel Soto. 30 no. 1-3 (2016): 172-193.

STUDENTS' ACADEMIC ACHIEVEMENT IN CHEMISTRY AFTER IMPLEMENTING A PBL STRATEGY

Hernández Myrna. 30 no. 1-3 (2016): 61-76.

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

Beltrán Morales Sandra. 30 no. 1-3 (2016): 107-126.

ARTRÓPODOS

COMPARACIÓN DE LA FAUNA DE ARTRÓPODOS TERRESTRES ENTRE PASTIZALES Y BOSQUES DOMINADOS POR EL TULIPÁN AFRICANO (*SPATHODEA CAMPANULATA*), EN TRES ZONAS DEL CARSO NORTEÑO EN PUERTO RICO

Barberena-Arias M.F., J. Ortiz-Zayas, C. Abad, G. Almodóvar, E. López, M. Rodríguez, M. Samó, G. Dávila y L. Troche. 26 no. 1-3 (2012): 68-79.

GETTING EDGY: COMPARING POPULATIONS OF ARTHROPODS ACROSS THE FOREST/MEADOW ECOTONE IN THE HJ ANDREWS EXPERIMENTAL FOREST, OREGON

Archibald Wendy. 26 no. 1-3 (2012): 34-38.

BOSQUE

CENTRO AMBIENTAL SANTA ANA: OPORTUNIDADES PARA LA EDUCACIÓN, INTERPRETACIÓN Y LA INVESTIGACIÓN DE NUESTRA NATURALEZA

Rodríguez-Colón Cándida y Eliezer Nieves-Rodríguez. 26 no. 1-3 (2012): 44-53.

PRODUCTIVITY INDICES FROM LEAF CHEMISTRY: A STUDY OF POLLUTION EFFECTS IN PUERTO RICAN *RHIZOPHORA MANGLE*

Hiam Noelle Stephanie Díaz, Ama Essuman, Marjahn Finlayson y Achira Sheth – Shah. 29 no. 1-3 (2015): 35-40.

THE RESTORATION OF THE INSULAR FOREST MANGROVES

Marrero Torrado José y Frank H. Wadsworth. 28 no. 1-3 (2014): 27-28.

THE WOOD OF THE CORDILLERA CENTRAL, LOSE IT OR USE IT

Wadsworth Frank H. 28 no. 1-3 (2014): 29-30.

BOSQUE TROPICAL

COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE UN BOSQUE TROPICAL URBANO EN EL KARSO NORTEÑO DE PUERTO RICO

López Machado Elliot, Keyla Soto Hidalgo y Tamara Heartsill – Scalley. 26 no. 1-3 (2012): 54-67.

DIVERSIDAD DE MURCIÉLAGOS EN EL BOSQUE TROPICAL URBANO SANTA ANA: UNA PERSPECTIVA DESDE LA TEORÍA DE BIOGEOGRAFÍA DE ISLAS

Rivera-De Jesús Wilmer O. y Ivelisse Torres-Quintana. 26 no. 1-3 (2012): 98-108.

LA COMPLEJIDAD ECOLÓGICA DE UN BOSQUE TROPICAL URBANO

Ortiz Zayas Jorge R. y María Fernanda Barberena-Arias. 26 no. 1-3 (2012): 109-120.

LA COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD DE AVES EN UN BOSQUE TROPICAL URBANO

Abad Clara. 26 no. 1-3 (2012): 87-97.

LAPA LAVA DE LA FORMACIÓN ROBLES

PETROLOGY, GEOCHEMISTRY, AND MORPHOLOGY OF THE LAPA LAVA PILLOW BASALTS, SALINAS, PUERTO RICO

Bessey Sarah E., Ellen W. Alexander y S. Libby Lazare. 29 no. 1-3 (2015): 2-14.

BOSQUE URBANO

BOSQUE URBANO COMUNITARIO DE CAPETILLO: UN ESTUDIO EXPLORATORIO SOBRE COMUNIDADES URBANAS Y SUS ESPACIOS VERDES

Vega Fontánez Hagmel A. 30 no. 1-3 (2016): 282-295.

EL ABANDONO AGRÍCOLA REFLEJADO EN EL CITADINO: MANEJO DE REFORESTACIÓN URBANA

Abelleira Martínez Oscar J. y Sally González Miranda. 29 no. 1-3 (2015): 66-77.

STRUCTURE, GROWTH RATES, AND CARBÓN SEQUESTRATION OF AN URBAN FOREST IN RÍO PIEDRAS, PUERTO RICO

Morales Gabriela M. y Ariel E. Lugo. 29 no. 1-3 (2015): 78-91.

BRASSICA JUNCEA

HEAVY METAL ACCUMULATION IN *BRASSICA JUNCEA* GROWN ON PUERTO RICAN SERPENTINE SOIL

Zimmer Scott, Jenessa Duncombe y Jason Gross. 29 no. 1-3 (2015): 51-65.

CAÑAVERALES Y AGROINDUSTRIAS

LOS CAÑAVERALES DEL PASADO Y LAS AGROINDUSTRIAS DEL FUTURO

Watlington Francisco 29 no. 1-3 (2015): 138-139.

CARIBBEAN AND ANTHROPOCENE

THE CARIBBEAN AND THE ANTHROPOCENE

Lugo Ariel E. 29 no. 1-3 (2015): 134-137.

CAUDAL

GEOGRAFÍA DE LOS RÍOS DE PUERTO RICO: CLASIFICACIÓN DE SERIES DE CAUDAL E IMPLICACIONES ECOLÓGICAS

Blanco Juan F., Johana M. Sarmiento y Nelsón Fernández. 28 no. 1-3 (2014): 35-47.

CERRO EL FARO

CERRO EL FARO: A CRITICAL COMPONENT FOR THE CONSERVATION OF NATURAL RESOURCES OF NORTHEASTERN PUERTO RICO

Lugo Ariel E. y Tamara Heartsill Scalley. 29 no. 1-3 (2015): 130-133.

CONFLICTO AMBIENTAL

LA COBERTURA DE TERRENO: EL PRÓXIMO CONFLICTO AMBIENTAL

Lugo Ariel E. 28 no. 1-3 (2014): 48-49.

CONSERVACIÓN DE ESPECIES

LABORATORIO *IN SITU* DEL CICLO DE VIDA DE LA MARIPOSA *DANAUS PLEXIPPUS*

Rodríguez Harrison Minnette. 30 no. 1-3 (2016): 194-201.

CONSERVACIÓN RÍO MAMEYES

TEORÍA TRANSDISCIPLINARIA AL SERVICIO DE LOS MÁS VULNERABLES: ESTUDIO DE CASO DEL RÍO MAMEYES, PUERTO RICO

Alicea Martínez Adail, Nora Álvarez Berrios y Natalia B. Álvarez Negrón. 30 no. 1-3 (2016): 296-311.

CONTAMINACIÓN

EFFECT OF POLLUTION ON SEAGRASS ECOSYSTEMS IN GUANICA BAY AND CABO ROJO, PUERTO RICO

Singer Jack, Sienna Courter, Suzanne O'Connell, James Hall, Katharine Evans, Hichem Hadjeres y Dat Vu. 29 no. 1-3 (2015): 41-50.

CONTROL DE INUNDACIONES

AN ANALYSIS OF US ARMY CORPS OF ENGINEERS DOCUMENTS SUPPORTING THE CHANNELIZATION OF THE RÍO PIEDRAS

Lugo Ariel E., Christopher J. Nytych y Molly Ramsey. 27 no. 1-3 (2013): 4-72.

EDUCACIÓN AMBIENTAL

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

Del Río Joglar, Sandra M., Michelle Borrero y Jorge Rodríguez Lara. 30 no. 1-3 (2016): 26-44.

ESPECIES

JOBOS BAY MANGROVES REVISITED: GAS EXCHANGE, SALINITY, AND NUTRIENT RELATIONS

Medina Ernesto, Elvira Cuevas, Ariel E. Lugo, Oscar Abelleira y Jessica Fonseca da Silva. 29 no. 1-3 (2015): 92-108.

HOJARASCA O ECOLOGÍA

A CROSS-SITE LITTER DECOMPOSITION STUDY WITH TEACHER-SCIENTISTS PARTNERSHIPS

Moldenke Andrew, Marion Dresner, Sally Kirkpatrick, Sharon Cooper y Kirk Soule. 26 no. 1-3 (2012): 13-26.

DIFFERENCES IN DECOMPOSITION OF LEAF LITTER FROM NITROGEN-FIXER AND NON-NITROGEN-FIXER PLANTS IN A CROSS SITE LITTER EXPERIMENT CONDUCTED AT THE HJ ANDREWS EXPERIMENTAL FOREST, OREGON, USA

Kirkpatrick Sally y Andrew Moldenke. 26 no. 1-3 (2012): 39-43.

ENFOQUE ECOLÓGICO SOCIAL

IN SEARCH OF AN ADAPTIVE SOCIAL-ECOLOGICAL APPROACH TO UNDERSTANDING TROPICAL CITY

Lugo Ariel E., Carmen M. Concepción, Luis E. Santiago-Acevedo, Tischa A. Muñoz-Erickson, Julio C. Verdejo Ortiz, Raúl Santiago-Bartolomei, Jimena Forero-Montaña, Christopher J. Nytych, Harold Manrique y Wanda Colón-Cortés. 26 no. 1-3 (2012): 121-134.

REFLECTIONS AFTER FIVE YEARS OF SAN JUAN ULTRA

Lugo Ariel E. 28 no. 1-3 (2014): 31-34.

ECOLOGÍA DE INVASIONES

LA ECOLOGÍA DE INVASIONES: UN PARADIGMA BIOGEOGRÁFICO FALAZ

Watlington Linares Francisco. 28 no. 1-3 (2014): 2-15.

FLORA EPIFÍTICA

POR CIENTO DE CENIZAS EN LA FLORA EPIFÍTICA DE *PRESTOEIA MONTANA*

Báez Carmen L. 28 no. 1-3 (2014): 16-23.

GATOS CALLEJEROS

PUBLIC PERCEPTION TOWARDS STRAY CATS IN OLD SAN JUAN, PUERTO RICO

Castro Prieto Jessica y María José Andrade Núñez. 30 no. 1-3 (2016): 270-281.

HERBIVORIA

HERBIVORY AND LEAF TRAITS IN *CECROPIA SCHREBERIANA* ALONG AN ELEVATION GRADIENT IN LUQUILLO EXPERIMENTAL FOREST, PUERTO RICO

Haynes Audrey, Justin Chenevert, Noah Citron y Gabriel Skyrms. 29 no. 1-3 (2015): 25-34.

HIDROLOGÍA URBANA

INVESTIGATING THE WATER BALANCE AND QUALITY OF A TROPICAL URBAN SEWERSHED THROUGH COLLABORATIVE LEARNING

Nytych Christopher J., Jodany Fortuné, Molly M. Ramsey, Joel Meléndez, Mayra A. Sánchez García, Ana V. Arache, José A. Fontánez Pérez y Jorge r. Ortiz Zayas. 30 no. 1-3 (2016): 217-254.

HISTORIA AMBIENTAL

THE GOVERNOR'S BEACH HOUSE IN PLAYA EL CONVENTO: A LOCAL ENVIRONMENTAL HISTORY

**TO CO-MANAGING THE NORTHEAST ECOLOGICAL
CORRIDOR NATURAL RESERVE VALUES**

Lugo Vega Johnny, Luis Villanueva Cubero, Francisco J. Soto
Santiago y Paul Furumo. 30 no. 1-3 (2016): 312-329.

INVESTIGACIÓN EDUCATIVA

**MEJORANDO LA EDUCACIÓN STEM A TRAVÉS DE LA
INVESTIGACIÓN EDUCATIVA**

Borrero Michelle, Milagros Bravo Vick, Marta Fortis y Pascua
Padró Collazo. 30 no. 1-3 (2016): 6-25.

ISLA DE GUAM

**EL GUAM-E DEL CULEBRÓN ASECHANDO AL
PRESUNTO IMPLICADO**

Watlington Linares Francisco. 29 no. 1-3 (2015): 109-129.

KARSO

**LA FLORA DEL TRANSECTO SOCIAL-ECOLÓGICO
DEL KARSO NORTEÑO**

Mercado Díaz Joel A. 28 no. 1-3 (2014): 50-68.

MODELO CONCEPTUAL ECOLÓGICOS

**USING TEACHERS' QUANTITATIVE MODELS TO CAP-
TURE CHANGES IN UNDERSTANDING RESULTING
FROM RESEARCH EXPERIENCES**

Dresner Marion. 26 no. 1-3 (2012): 3-12.

POLILLA O ECOSISTEMA O DIVERSIDAD

**MOTH DIVERSITY IN THE HJ ANDREWS EXPERIMEN-
TAL FOREST DURING THE SUMMER 2009**

Marquardt Kevin, Molly Charnes, Rachelle Carnes, Logan
Marquardt y Padriac Quinn. 26 no. 1-3 (2012): 27-33.

SUELO

**GEOCHEMICAL EVIDENCE FOR THE ORIGIN OF
MARINE TERRACE SOILS IN NORTHERN PUERTO
RICO**

Dong Chuqiao y David Knorr. 29 no. 1-3 (2015): 15-24.

YUNQUE

THE DECADE OF TREE PLANTING IN EL YUNQUE

Marrero Torrado José y Frank H. Wadsworth. 28 no. 1-3 (2014):
24-26.

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 Científica** 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

Asociación de Maestros de Ciencias de Puerto Rico 

VOL. 31(1-3), 2017

ISSN: 1940-1148