



Puerto Rico

ACTA CIENTÍFICA

ASOCIACIÓN DE MAESTROS DE CIENCIA DE PUERTO RICO



ISSN.1940-1148

VOL. 15 NÚM. 1, 2001

Acta Científica

ASOCIACIÓN DE MAESTROS DE CIENCIA DE PUERTO RICO

Editor

Ariel E. Lugo

Editora Asociada

Evelyn Pagán

Revisores de esta edición

Abel Vale

Ariel E. Lugo

Blanca Ruiz

Armando Rodríguez

ACTA CIENTÍFICA es la revista multidisciplinaria de la Asociación de Maestros de Ciencia de Puerto Rico. ACTA considera para su publicación, trabajos originales en cualquier área de la ciencia, a saber, física, química, bioquímica, zoología, botánica, ecología, biomedicina, medicina, ciencias terrestres, ciencias atmosféricas, psicología del comportamiento, tecnología farmacéutica o matemáticas. Un *artículo* describe un estudio completo y definitivo. Una *nota* es un proyecto completo, pero más corto, que se refiere a hallazgos originales o importantes modificaciones de técnicas ya descritas. Un *ensayo* trata aspectos relacionados con la ciencia, pero no está basado en resultados experimentales originales. Una *revisión* es un artículo que comenta la literatura más reciente sobre un tema especializado.

Los manuscritos deben ser enviados en triplicado al Editor, quien los someterá a revisión crítica de revisores en el área de ciencia concernida. La aceptación de trabajos debe ser escritos en español e inglés. El requisito de manuscritos enviados para publicación que el mismo no es ni ha sido presentado a otra revista científica. Contribuciones a la revista deberán ser dirigidas al Editor.

Ariel E. Lugo
Editor Acta Científica
Instituto Internacional de Dasonomía Tropical
Servicio Forestal
Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
PO Box 25000
Río Piedras, Puerto Rico 00928-5000

Para asegurar la consideración de su manuscrito, se aconseja prepararlo de acuerdo a las siguientes INSTRUCCIONES PARA AUTORES:

PORTADA

Foto de un fragmento del paisaje cárstico que rodea el Río Grande de Manatí en el municipio de Ciales (foto por María A. Juncos Gautier, abril 1996).

- Los trabajos deben ir acompañados de un resumen en español y un *abstract* en inglés, escrito a doble espacio y en hojas separadas, encabezadas por el título completo del trabajo traducido al español y al inglés en cada caso. El título debe ser informativo y corto, generalmente no más de 12 palabras. El autor debe indicar un título más breve (no más de 40 letras), en el mismo idioma del trabajo, para ser utilizado como encabezamiento de cada página (*running head*).
- Las figuras y fotografías deben identificarse en el reverso a lápiz con el número que le corresponde, el nombre del primer autor y título del trabajo. Debe presentarse una lista de figuras junto con las leyendas de cada una, mecanografiadas a doble espacio en hojas separadas del artículo.
- Las tablas deben mecanografiarse a doble espacio, presentarse cada tabla en hojas separadas, enumerarse consecutivamente, tener un título breve, y ser precisas. No deben repetir material en tablas y en figuras.
- Los autores deben usar el sistema métrico para sus medidas. Consúltese el Sistema Internacional de Unidades (SI) como guía en la conversión de sus medidas. Al redactar texto y preparar figuras, nótese que el sistema internacional de unidades requiere: (1) el uso de términos masa o fuerza en vez de peso; (2) cuando una unidad es expresada en denominador, se debe utilizar el sólido (g.g., g.m²); para dos o más unidades en un denominador, use el sólido y un decimal (e.g., g.m².d); y, (3) use la "L" como el símbolo de litro.
- Compagine las partes de su manuscrito en este orden: página de título, abstracto, texto, agradecimiento, literatura citada, anejos, tablas, leyendas de figuras, y figuras. Enumere todas las páginas.

En general recomendamos a los autores acompañar el texto del trabajo con una lista de todos los anejos, figuras, fotografías, tablas, etc.

ACTA proveerá 25 separatas de cada artículo libre de costo. El autor principal recibirá las separatas y podrá ordenar copias adicionales al momento de devolver las pruebas de galera.

El editor es responsable de los comentarios y editoriales que aparezcan sin firma. Las opiniones expresadas no son necesariamente aquellas de la Asociación de Maestros de Ciencia de Puerto Rico, ni obligan a sus miembros. Los lectores están cordialmente invitados a expresar sus opiniones en la sección Cartas al Editor. Esta revista no tiene propósitos comerciales y no produce beneficio económico alguno a sus editores.

**ASOCIACIÓN DE MAESTROS DE CIENCIA DE PUERTO RICO
JUNTA DE DIRECTORES 2002-2003**

Presidenta
Presidenta Saliente
Presidenta Electa
Secretaria
Secretaria Ejecutiva
Tesorera

Dra. Lilliam Lizardi
Prof. Ramonita Rodríguez
Prof. Cruz Milagros Lugo
Prof. Betzaida Ortiz
Prof. Lucy Gaspar
Dra. Hilda Morell

PRESIDENTES DE CAPÍTULO REGIONALES

Arecibo
Bayamón
Caguas
Coamo
Fajardo
Humacao
Mayagüez
Morovis
Ponce
San Germán
San Juan

Nydia Pagán Otero
Ángel A. Lorenzana
Carmen A. Árce
Vacante
Myrtha Silva
Normitza Sepúlveda
Zulma N. Torres y Daisy Sánchez
Áurea V. Rosario
Javier González y María de Lourdes Medina
Santa M. Colberg y Elaine del C. Vega
Vacante

MIEMBRO EX-OFICIO

Prof. María Morán
(Directora del Programa de Ciencias
Departamento de Educación)

MIEMBRO HONORARIO

Prof. Alice El Koury

COMITÉ ASESOR

Dr. Herminio Lugo Lugo
Dra. Josefina Árce
Dr. Héctor Joel Álvarez
Prof. Acenet Bernacet
Prof. Lucy Pagán
Prof. Carmen Varela

COLABORADORES

Prof. Yanira Quintana
Prof. Myriam Cancel
Prof. Jacqueline Mattei

ACTIVIDADES DE LA ASOCIACIÓN Y OTRAS ORGANIZACIONES RELACIONADAS

28 de septiembre de 2002

Finales de octubre

7 de diciembre de 2002

26 de febrero al 1 de marzo de 2003

21 de marzo de 2003

27-30 de marzo de 2003

11 de abril de 2003 (fecha tentativa)

26 de abril de 2003

Se anunciará

Segundo sábado de cada mes

Congreso de investigación de la Zona Kárstica

Simposio de Ecología Isleña

III Pre-simposio de investigación para estudiantes de escuela superior

XXX Congreso de Investigación Científica

XVI Congreso de Clubes de Ciencia

Convención Anual de la Asociación Nacional de Maestros de Ciencia NSTA

Convención Anual

Simposio de investigación auspiciado por el Club Quantum,

Escuela Luis Muñoz Marín, Yauco

Varios talleres de desarrollo profesional

Reuniones de la Junta de Directores en la oficina de la AMCPR

Para comunicarse con la Asociación de Maestros de Ciencia o subscribirse a **Acta Científica** comuníquese con:

Dr. Héctor J. Álvarez
Asociación de Maestros de Ciencia
Apartado 22044, Estación UPR
San Juan, Puerto Rico 00931

EDITORIAL

Este número de **Acta** continúa presentando los análisis histórico-dasonómicos de Carlos Domínguez Cristóbal--sobre el aprovechamiento de los manglares de Cabo Rojo al final del siglo 19. El trabajo principal de este número es un resumen de las características del karso (o *karst*) de Puerto Rico. El karso cubre el 28 por ciento de Puerto Rico y es una de las áreas más espectaculares y menos desarrolladas de la Isla. Debido a la actividad de construcción sin freno que sufre el país, la zona del karso está asediada y amerita la atención de todos los puertorriqueños. El trabajo de María A. Juncos Gautier resume mucha literatura científica sobre el karso e ilustra con tablas y diagramas los procesos geológicos, geomorfológicos y ecológicos que forman el karso y mantienen su funcionamiento. Nos complace publicar este trabajo en un momento cuando varias agencias del gobierno luchan por conservar este valioso recurso natural de Puerto Rico. Los maestros de ciencia encontrarán aquí suficiente material para utilizar en el salón de clase y si quieren profundizar sobre el asunto, deben comunicarse con los Ciudadanos del Karso (787-760-2100), una organización no gubernamental dedicada a la conservación del karso; o pueden consultar la siguiente publicación disponible a través del Servicio Forestal Federal:

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. USDA Forest Service, General Technical Report WO-65. 100 p.

Ariel E. Lugo

LOS PLANES DE APROVECHAMIENTO FORESTAL DE LA INSPECCIÓN DE MONTES DE PUERTO RICO EN LOS MANGLARES DE CABO ROJO DURANTE LOS AÑOS DE 1877-78 A 1888-89

Carlos M. Domínguez Cristóbal

Instituto Internacional de Dasonomía Tropical

Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América
Río Piedras, Puerto Rico 00928-5000

El restablecimiento de la Inspección de Montes de Puerto Rico en 1875, marcó el inicio de un nuevo capítulo en la historia de nuestros manglares (AHN, Ultramar, Fomento de Puerto Rico, Legajo 349, Expediente 3, Documento –Real Decreto del 25 de febrero de 1875 por SM Alfonso XII ordenando el restablecimiento de la Inspección de Montes en Puerto Rico). Hasta ese año, la Comandancia de la Marina, era la “agencia” responsable ante el gobierno colonial español de dilucidar los asuntos relativos a los manglares del país. Dentro de esa perspectiva, la vigilancia y los aprovechamientos de ese ecosistema figuraban entre los asuntos con que ésta debía lidiar.

En 1876, ante el advenimiento de las Ordenanzas de Montes se inició un proceso que condujo hacia la pérdida de una parte de la autoridad de la Comandancia de la Marina sobre los manglares. Las Ordenanzas, a pesar de constituirse en la principal fuerza motriz de la política forestal del país no vislumbraban la inclusión de los manglares dentro de su reglamentación. Ante esa situación, Don César de Guillerma y de las Heras, el Inspector de Montes de Puerto Rico, inició una serie de cuestionamientos que culminaron con el reconocimiento de los manglares como montes del Estado y por ende el que estuvieran circunscritos dentro de la política forestal de las Ordenanzas de Montes de 1876.

Uno de los resultados más dramáticos de ese panorama lo constituyó el advenimiento de los planes de aprovechamiento forestal. Estos estaban basados en la celebración de un sistema de subastas públicas anuales las cuales eran otorgadas al mejor postor (AHN, Ultramar, Fomento de Puerto Rico,

Legajo 350, Expediente 5, Documento-Ordenanzas de Montes para las Provincias de Cuba y Puerto Rico-1876). Esta situación creó un malestar, entre otros, entre los hacendados de la caña colindantes a los manglares pues era uso y costumbre la utilización diversa del manglar sin necesidad de responder económicamente a las arcas gubernamentales ni mucho menos el asistir a una subasta pública para obtener de ser concedido algún beneficio del manglar. No obstante, la vigilancia del manglar permaneció bajo la jurisdicción de la Comandancia de la Marina.

Los planes de aprovechamiento forestal eran una especie de planes de manejo anuales enfocados hacia la utilización racional de las leñas y cortezas del manglar. Ello estaba basado en la interpretación de una serie de datos que habían sido recopilados previamente en aquellos manglares que la Inspección de Montes consideraba que debían de estar sujetos a los mismos. Esto implicaba que no todos los manglares existentes en Puerto Rico en el último cuarto del siglo XIX estaban sujetos a los planes de aprovechamiento anual de la Inspección de Montes de Puerto Rico. Entre los parámetros más significativos para la consideración de la inclusión de un manglar en los planes de aprovechamiento anual figuraban la extensión, localización, especie predominante y su distribución, y, la influencia climatológica sobre el lugar de ubicación y zonas aledañas. Por otro lado, esos parámetros eran más estrictos con el mangle rojo o zapatero (*Rhizophora mangle*). La razón de ello estribaba en el corte abusivo y desmedido que venía sufriendo de forma intensiva y por varias décadas ese tipo de manglar. Entre las principales causas

que motivaban esa situación se ubicaban la utilización de ese tipo de manglar como material curtiente así como el ser empleado como material de combustible en las chimeneas de las haciendas azucareras. Dentro de esa perspectiva los grandes hacendados de la caña que eran colindantes con los manglares incursionaban en este ecosistema contribuyendo en gran medida a su reducción. Eventualmente esa visión de los grandes hacendados del azúcar fue auxiliada por la idea generalizada de que los manglares eran considerados como un foco de propagación de enfermedades tales como la malaria. Por otro lado, el gobierno propiciaba la desecación del manglar o de otras áreas pantanosas siempre y cuando existieren unos proyectos para convertir tales zonas en lugares de producción agrícola. Ante ese panorama los manglares ubicados en Cabo Rojo constituyen un buen ejemplo para el estudio de la política forestal del manglar durante el último cuarto del siglo XIX.

La entrega oficial de los manglares a través de un inventario de parte de la Comandancia de la Marina para con la Inspección de Montes de Puerto Rico el primero de agosto de 1877 constituye un paso de vital importancia hacia la generación de los planes de aprovechamiento forestal (AHN, Ultramar, Fomento de Puerto Rico, Legajo 350, Expediente 6, Documento 2). Ante esa circunstancia y dado el reconocimiento de los manglares como montes públicos, la Inspección de Montes de Puerto Rico quedó facultada dado el respaldo de las Ordenanzas de Montes en ser la "agencia" que regulara oficialmente los planes de aprovechamiento de los manglares. Dentro de esa perspectiva tal inventario señalaba sobre la existencia de manglares en Cabo Rojo pero no especificaba información detallada sobre los mismos.

Durante los años en que la Inspección de Montes de Puerto Rico generó los planes de aprovechamiento forestal (1877-78 a 1888-89) la municipalidad de Cabo Rojo estuvo representada por tres manglares: Manglar de Las Salinas, Pasajes, Barrancas y otros, o sea, desde Boquerón a la jurisdicción de San Germán, el Manglar Baldío de los manglares del Boquerón, y el Manglar de los barrios Guanajibo, Miradero, Puerto Real y parte del Boquerón, o sea, desde Guanajibo al Boquerón).

(AGPR, Obras Públicas, Propiedad Pública, cajas 311-315 Planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico durante los años forestales de 1877-78 a 1888-89). Sin embargo, a excepción del primero de ellos, los restantes fueron incluidos en los planes de aprovechamiento forestal hasta el año de 1883-84.

El manglar de Las Salinas, Pasajes, Barrancas y otros estaba constituido por 43.23 hectáreas de mangle predominantemente negro (*Avicennia germinans*) dividido en dos zonas de similar extensión. Este manglar pertenecía a San Germán hasta el año de 1883. Ese año Lajas se convirtió en nueva municipalidad quedando dicho manglar circunscrito a su jurisdicción. Éste colindaba, entre otros, con los terrenos de las familias Comas, Colbert y Monsanto (AGPR, Obras Públicas, Propiedad Pública, caja 24 Expediente del monte del Estado denominado Manglar de las Salinas, Pasajes, Barrancas y otros). El potencial que representaba el desarrollo de las salinas de este manglar motivó el que en varias ocasiones el Inspector de Montes propusiese la eliminación del arbolado de este manglar para de esa forma facilitar y abaratar la extracción de las salinas.

El manglar Baldío de los Manglares del Boquerón estaba compuesto de 117.9119 hectáreas cuya especie dominante, el manglar negro colindaba por el oeste con la hacienda de Francisco Wys; por el sur y oeste con terrenos de Francisco Wys, Florentino Pabón, Manuel Prats y Nicolás Ronda y, por el este con Pablo Hernández, Barbas Hermanos y el mar (AGPR, Obras Públicas, Propiedad Pública, caja 24 Expediente del monte del Estado denominado Baldío de los Manglares del Boquerón). Aunque la ubicación de este manglar era en el barrio Boquerón de Cabo Rojo, éste era denominado como Placeres o Bauta. Esas denominaciones provienen de la población del lugar cuando otorgaban tales nombres a las pequeñas lagunas que se forman cuando ascendía el nivel del mar. Este manglar el cual los documentos le ubican al sur de la población de Cabo Rojo y a una distancia de unos siete kilómetros del pueblo, poseía en su centro y en comunicación directa con el mar a través de un estrecho canal una gran laguna abundante en pesca. (AGPR, Obras Públicas, Propiedad Pública, caja 24

Expediente del monte del Estado denominado baldío de los Manglares de Boquerón). No obstante, el aprovechamiento de la pesca así como el de las salinas de este manglar no les correspondía su otorgación a la Inspección de Montes de Puerto Rico.

El Manglar de los barrios Guanajibo, Joyuda, Miradero, Puerto Real y parte del Boquerón de Cabo Rojo adquirió tal denominación a base de los barrios en los cuales se ubicaba en esa municipalidad. Su extensión la cual estaba constituida por 115.71 hectáreas en los cuales la especie dominante era el mangle negro también incluía el Caño de Doña Isabel, La Llave, Laguna de Guanajibo, Cañitas, El Fuerte, Guaniquilla, Peñas y otros. (AGPR, Obras Públicas, Propiedad Pública, caja 24 Expediente del monte del Estado denominado Manglar de los barrios Guanajibo, Miradero, Puerto Real y parte del Boquerón). El manglar esta constituido por una serie de manchas de diversas extensiones y colindaba en Miradero con las haciendas de las familias Delgado y Bonilla así como otras propiedades entre las cuales se ubicaban las correspondientes a las familias Rodríguez y Cabezas (AGPR, Obras Públicas, Propiedad Pública, caja 24 Expediente del monte del Estado denominado Manglar de los barrios Guanajibo, Joyuda, Miradero, Puerto Real y parte del Boquerón). En Puerto Real lindaba con la Hacienda Cofresi y con la propiedad de los Señores Pachot y Castellot. (AGPR, Obras Públicas, Propiedad Pública, caja 24 Expediente del monte del Estado denominado Manglar de los barrios de Guanajibo, Joyuda, Miradero, Puerto Real y parte del Boquerón).

La declaración de enagenables de parte de la Inspección de Montes para el Manglar Baldío de los manglares del Boquerón (12 de enero de 1884) así como del Manglar de los barrios Guanajibo, Joyuda, Miradero, Puerto Real y parte del Boquerón (14 de enero de 1884) motivó el que la Junta Superior de Composición y Venta de Terrenos Realengos iniciarse un expediente encaminado hacia la venta de esos manglares (AGPR, Obras Públicas, Propiedad Pública, caja 148 Expediente- Relación detallada de las fincas pertenecientes al Estado...). Por tal motivo, éstos fueron incluidos en los planes de aprovechamiento forestal hasta el año de 1883-84. Ante esa perspectiva las 117.9117 hectáreas que

componían el Manglar Baldío de los manglares del Boquerón fue propuesto para la venta por un precio de 342.6 pesos mientras que el Manglar de los barrios Guanajibo, Joyuda, Miradero, Puerto Real y parte del Boquerón (115.71 hectáreas) fue cotizado en 225.60 pesos. (AGPR, Obras Públicas, Propiedad Pública, caja 148 Expediente- Relación detallada de las fincas pertenecientes al Estado...). Esta situación provocó que el 29 de mayo de 1884 la Intendencia de Hacienda solicitara de la Inspección de Montes de Puerto Rico el que se iniciara el proceso de apeo, deslinde y tasación de esos manglares para que de esa forma se cumpliera con los requisitos para la realización de la venta propuesta (AGPR, Obras Públicas, Propiedad Pública, caja 24 Expediente sobre apeo, deslinde y tasación por la Inspección de Montes de varios terrenos del Estado declarados enagenables). Sin embargo, dicha agencia no efectuó tal solicitud y al iniciarse la década del 1890 todavía éstos constituían parte integrante de las propiedades del Estado.

Durante los años forestales de 1877-78 a 1888-89 el mangle negro el cual también era conocido como chifle de vaca, era la especie dominante en los manglares de Cabo Rojo que estaban adscritos a los planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico. No obstante, a pesar de que el mangle rojo o zapatero era considerado como una especie subordinada en estos manglares, ésta constituía la totalidad de las cortezas incluidas en los planes de aprovechamiento forestal. Las cortezas descritas en esos planes procedían exclusivamente del descortezado de aquellos individuos de mangle rojo que poseían un diámetro mínimo o mayor de unos siete centímetros del nivel de las aguas o del suelo según fuere el caso (AGPR, Obras Públicas, Propiedad Pública, cajas 311-315 Planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico durante los años de 1877-78 a 1888-89). Sin embargo, cabe destacar que los planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico para los manglares de Cabo Rojo no incluyeron en el año forestal de 1877-78 ningún aprovechamiento inherente a las cortezas. La inherencia de las cortezas en los planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico se inició en 1878-79 y se extendió en el Manglar Baldío de los manglares de

Boquerón y Manglar de los barrios Guanajibo, Joyuda, Miradero y Puerto Real y parte del Boquerón hasta 1883-84 y, para el Manglar de las Salinas, Pasajes, Barrancas y otros hasta 1888-89 (Tabla 1).

La unidad básica de peso para las cortezas del manglar en los planes de aprovechamiento forestal lo constituía el kilogramo (AGPR, Obras Públicas, Propiedad Pública, cajas 311-315 Planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico durante los años de 1877-78 a 1888-89). Dentro de esa perspectiva, el precio en pesos por kilogramo de corteza de mangle rojo en los manglares de Cabo Rojo que estaban bajo la

jurisdicción de los planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico fue tasado en 0.013 de 1878-79 a 1879-80 y de 0.012 de 1880-81 a 1888-81 a 1888-89 (AGPR, Obras Públicas, Propiedad Pública, cajas 24-25).

Durante los años de 1878-79 a 1888-89 los planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico para los manglares de Cabo Rojo que estaban bajo su jurisdicción proyectaron que 62,050 kilogramos de cortezas de mangle rojo serían subastados a un precio total de 756,60 pesos (Tabla 2). La proyección mayor estaba cifrada en el Manglar de Las Salinas, Pasajes,

TABLA 1. Relación económica anual de las cortezas de mangle en los planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico en los manglares de Cabo Rojo adscritos a su jurisdicción durante los años forestales de 1877-78 a 1888-89.

Año forestal	Manglar 1		Manglar 2		Manglar 3	
	Kilogramos de cortezas	Importe económico (pesos)	Kilogramos de cortezas	Importe económico (pesos)	Kilogramos de cortezas	Importe económico (pesos)
1877-78	0	0	0	0	0	0
1878-79	2300	30.00	2300	30.00	1150	15.00
1879-80	2300	30.00	2300	30.00	1150	15.00
1880-81	2800	33.60	2970	35.64	1500	18.00
1881-82	3100	37.20	3560	42.72	2000	24.00
1882-83	3800	45.60	4550	54.60	2560	30.72
1883-84	3800	45.60	4550	54.60	2560	30.72
1884-85	0	0	0	0	2560	30.72
1885-86	0	0	0	0	2560	30.72
1886-87	0	0	0	0	2560	30.72
1887-88	0	0	0	0	2560	30.72
1888-89	0	0	0	0	2560	30.72
Total	18100	222.0	20230	247.56	23720	287.04

Fuente: Archivo General de Puerto Rico, Obras Públicas, Propiedad Pública, cajas 24-25 (Cabo Rojo), 311-315 (Planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico en los manglares de Cabo Rojo que estaban bajo su jurisdicción durante los años forestales de 1877-78 a 1888-89).

Manglar 1. Manglar de los barrios de Guanajibo, Joyuda, Miradero, Puerto Real y parte del Boquerón, o sea, desde Guanajibo al Boquerón.

Manglar 2. Manglar Baldío de los manglares del Boquerón.

Manglar 3. Manglar de Las Salinas, Pasajes, Barrancas y otros, o sea, desde el Boquerón a la jurisdicción de San Germán.

TABLA 2. Relación económica total y anual (pesos) de las cortezas y leñas en los manglares de Cabo Rojo bajo la jurisdicción de la Inspección de Montes de Puerto Rico durante los años forestales de 1877-78 a 1888-89.

Año forestal	Número de esteras de leña	Importe económico (pesos)	Kilogramos de cortezas	Importe económico (pesos)	Importe económico total (pesos)
1877-78	304	308.0	0	0	308.00
1878-79	304	145.0	5750	75.00	220.00
1879-80	304	145.0	5750	75.00	220.00
1880-81	410	254.2	7270	87.24	341.44
1881-82	610	378.2	8660	103.92	282.12
1882-83	950	570.0	10910	130.92	700.92
1883-84	950	570.0	10910	130.92	700.92
1884-85	200	120.0	2560	30.72	150.72
1885-86	200	120.0	2560	30.72	150.72
1886-87	200	120.0	2560	30.72	150.72
1887-88	400	120.0	2560	30.72	150.72
1888-89	400	120.0	2560	30.72	150.72
Total	5232	2970.4	62050	756.6	3727.00

Fuente: Archivo General de Puerto Rico, Obras Públicas, Propiedad Pública, cajas 24-25 (Cabo Rojo), 311-315 (Planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico durante los años forestales de 1877-78 a 1888-89).

Barrancas y otros, o sea, desde Boquerón a la jurisdicción de San Germán (Tabla 1). Este poseía el 38.23 por ciento de la cantidad de kilogramos de cortezas de mangle a subastarse (23,720 kilogramos) así como el 37.94 por ciento de los ingresos esperados (287.04 pesos) (Tabla 1). El manglar Baldío de los manglares del Boquerón ocupaba la segunda posición en cuanto a las cortezas a subastarse: 20230 kilogramos (32.60 por ciento) para un valor proyectado de 247.56 pesos (32.75 por ciento). El manglar de menor ingreso a base de las proyecciones de las subastas para con este renglón estaba representado por el Manglar de los barrios Guanajibo, Joyuda, Miradero, Puerto Real y parte del Boquerón: 18100 kilogramos de cortezas (29.17 por ciento) por un valor de 222 pesos (29.34 por ciento). Aunque el Manglar de Las Salinas, Pasajes, Barrancas y otros resultaba ser el de menor aportación económica planificada hasta 1883-84 (Tabla 1) al comparar las extensiones de los otros manglares de Cabo Rojo para con este manglar, éste resultaba ser el más productivo pues era 2.7 veces de menor extensión que los manglares Baldío de los Manglares de Boquerón y el Manglar de los barrios

de Guanajibo, Joyuda, Miradero, Puerto Real y parte del Boquerón. Sin embargo, a partir de 1884-85, cuando era el único manglar de Cabo Rojo sujeto a los planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico la cantidad de kilogramos de cortezas a extraerse así como su importe económico se mantuvieron estables hasta 1888-89 (Tabla 1). De hecho, tal situación se había iniciado en el año forestal de 1882-83.

Las esteras de leñas constituían el otro renglón de este ecosistema que era subastado anualmente a través de los planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico. Una estera era el equivalente a unos 720 kilogramos de leña seca recogida en el manglar sin considerar la especie a la que pertenecía. (AGPR, Obras Públicas, Propiedad Pública, cajas 311-315 Planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico durante los años de 1877-78 a 1888-89). Dentro de esa perspectiva existía una variante en el cálculo de las esteras de leñas procedían del mangle rojo. Al realizarse el descortezado de los ejemplares subastados de esta

especie, toda leña que así se producía era incluida en el cálculo de número de las esteras de leña de su respectivo manglar.

Durante los años de 1877-78 a 1888-89 los manglares de Cabo Rojo que estaban adscritos a los planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico debían de generar 5,232 esteras de leña los cuales generarían de subastarse un total de 2970.40 pesos (Tabla 2) (AGPR, Obras Públicas, Propiedad Pública, cajas 24-25). Al analizar dicho período el manglar Baldío de los manglares del Boquerón se proyectaba, de efectuarse las subastas planificadoras, como el manglar que

generaría los mayores ingresos relativos a esteras de leñas (Tabla 3). Dicho manglar debía de aportar 1250 pesos (42.08 por ciento) por el concepto de 1880 esteras de leña a subastarse (35.93 por ciento). El manglar de las Salinas, Pasajes, Barrancas y otros ocupaba el segundo lugar en cuanto a ingresos proyectados mediante las subastas de las esteras de leña: 1011.4 pesos (34.05 por ciento) por el concepto de 2114 esteras de leña (40.41 por ciento). Finalmente, el Manglar de los barrios Guanajibo, Joyuda, Miradero y Puerto Real y parte del Boquerón debía de aportar según las proyecciones de las subastas 709 pesos (23.87 por ciento) por unas 1238 (23.66 por ciento) esteras de leñas.

TABLA 3. Relación económica anual de las esteras de leña de mangle en los planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico en los manglares de Cabo Rojo que estaban adscritos a su jurisdicción durante los años forestales de 1877-78 a 1888-89.

Año Forestal	Manglar 1		Manglar 2		Manglar 3	
	Esteras de leña	Importe económico (pesos)	Esteras de leña	Importe económico (pesos)	Esteras de leña	Importe económico (pesos)
1877-78	96	72	160	200	48	36.0
1878-79	96	30	160	200	48	15.0
1879-80	96	30	160	100	48	15.0
1880-81	150	93	200	124	60	37.2
1881-82	200	124	300	186	110	68.2
1882-83	300	180	450	270	200	120.0
1883-84	300	180	450	270	200	120.0
1884-85	0	0	0	0	200	120.0
1885-86	0	0	0	0	200	120.0
1886-87	0	0	0	0	200	120.0
1887-88	0	0	0	0	400	120.0
1888-89	0	0	0	0	400	120.0
Total	1238	709	1880	1250	2114	1011.40

Fuente: Archivo General de Puerto Rico, Obras Públicas, Propiedad Pública, cajas 24-25 (Cabo Rojo), 311-315 (Planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico en los manglares de Cabo Rojo adscritos a su jurisdicción durante los años forestales de 1877-78 a 1888-89).

Manglar 1. Manglar de los barrios Guanajibo, Joyuda, Miradero, Puerto Real y parte del Boquerón, o sea, desde Guanajibo al Boquerón.

Manglar 2. Manglar Baldío de los manglares del Boquerón.

Manglar 3. Manglar de Las Salinas, Pasajes, Barrancas y otros, o sea, desde el Boquerón a la jurisdicción de San Germán.

Aunque la inclusión de las esteras de leña en los planes de aprovechamiento forestal de los manglares de Cabo Rojo adscritos a la Inspección de Montes de Puerto Rico data de un año de anterioridad en referencia a las cortezas, o sea, de 1877-78, este renglón estaba únicamente contemplado en el Manglar de Las Salinas, Pasajes, Barrancas y otros a partir de 1884-85 a 1888-89 (Tabla 3). Sin embargo, existen unas particularidades entre el valor promedio de las esteras de leña (en pesos) que merecen ser destacadas (Tabla 4). De 1877-78 a 1879-80 el precio promedio de las esteras de leña fue superior en el manglar Baldío de los Manglares de Boquerón (1.25 pesos en 1877-78; 0.63 pesos de 1878-79 a 1879-80) en comparación a los otros dos manglares (0.75 pesos

en 1877-78 y de 0.31 pesos de 1878-79 a 1879-80). De 1880-81 a 1883-84 el precio de las esteras de leña para los manglares de Cabo Rojo bajo la jurisdicción de los planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico se catalogó de uniforme: 0.62 pesos de 1880-81 a 1881-82 y de 0.60 pesos de 1882-83. Este último precio de las esteras de leña (0.62 pesos) se mantuvo estable hasta 1886-87 en el único manglar de Cabo Rojo sujeto a los planes de aprovechamiento forestal (Manglar de Las Salinas, Pasajes, Barrancas y otros, o sea, desde Boquerón a la jurisdicción de San Germán). No obstante, el valor promedio de las esteras de leña de este manglar se redujo a 0.30 pesos de 1887-88 a 1888-89.

TABLA 4. Precio promedio anual (pesos) de las esteras de leña en los manglares de Cabo Rojo bajo la jurisdicción de los planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico durante los años forestales de 1877-78 a 1888-89.

Año forestal	Manglar 1 Precio (pesos)	Manglar 2 Precio (pesos)	Manglar 3 Precio (pesos)
1877-78	0.75	1.25	0.75
1878-79	0.31	0.63	0.31
1879-80	0.31	0.63	0.31
1880-81	0.62	0.62	0.62
1881-82	0.62	0.62	0.62
1882-83	0.60	0.60	0.60
1883-84	0.60	0.60	0.60
1884-85	0.60	0.60	0.60
1885-86			0.60
1886-87			0.60
1887-88			0.30
1888-89			0.30

Fuente: Archivo General de Puerto Rico, Obras Públicas, Propiedad Pública, cajas 24-25 (Cabo Rojo), 311-315 (Planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico en los manglares de Cabo Rojo que estaban bajo su jurisdicción durante los años forestales de 1877-78 a 1888-89).

Manglar 1. Manglar de los barrios Guanajibo, Joyuda, Miradero, Puerto Real y parte del Boquerón, o sea, desde Guanajibo al Boquerón.

Manglar 2. Manglar Baldío de los manglares del Boquerón.

Manglar 3. Manglar de Las Salinas, Pasajes, Barrancas y otros, o sea, desde el Boquerón a la jurisdicción de San Germán.

Durante los años de 1877-78 a 1888-89 los manglares de Cabo Rojo que estaban bajo la jurisdicción de los planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico proyectaron unos ingresos mediante subastas ascendentes a 3727 pesos (Tabla 2). De esa cantidad, un 79.70 por ciento (2970.4 pesos) correspondían a las esteras de leña mientras que un 20.23 por ciento (756.6 pesos) se le atribuían a las cortezas del manglar. Por otro lado, se destaca que el Manglar Baldío de los manglares del Boquerón lideraba los ingresos totales (esteras de leña y cortezas) de realizarse las proyecciones de las subastas de los planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico en los manglares de Cabo Rojo que estaban bajo su jurisdicción durante los años de 1877-78 a 1888-89 (Tabla 5). Este manglar

debía de aportar 1497.56 pesos (40.18 por ciento) de tales proyecciones. La segunda posición era ocupada por el Manglar de Las Salinas, Pasajes, Barrancas y otros con 1298.44 pesos (34.84 por ciento). Finalmente, al Manglar de los barrios de Guanajibo, Joyuda, Miradero, Puerto Real y parte del Boquerón le correspondían 931 pesos (24.98 por ciento). Dentro de ese panorama, hay que destacar que las cortezas no figuraban en los planes de aprovechamiento forestal de Cabo Rojo de 1877-78, de que el único manglar de Cabo Rojo que permaneció bajo la jurisdicción de los planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico fue el Manglar de Las Salinas, Pasajes, Barrancas y otros, o sea, desde Boquerón hasta la jurisdicción de San Germán, de que la extracción de cortezas solo se obtenía del

TABLA 5. Relación económica anual y total (pesos) de los planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico en los manglares de Cabo Rojo que estaban bajo su jurisdicción durante los años forestales de 1877-78 a 1888-89.

Año forestal	Manglar 1 (pesos)	Manglar 2 (pesos)	Manglar 3 (pesos)	Total (pesos)
1877-78	72	200	36	308
1878-79	60	130	30	220
1879-80	60	130	30	220
1880-81	126.6	159.64	55.2	341.44
1881-82	161.2	228.72	92.2	482.12
1882-83	255.6	324.60	150.72	700.92
1883-84	225.6	324.60	150.72	700.92
1884-85			150.72	150.72
1885-86			150.72	150.72
1886-87			150.72	150.72
1887-88			150.72	150.72
1888-89			150.72	150.72
Total	931	1497.56	1298.44	3727

Fuente: Archivo General de Puerto Rico, Obras Públicas, Propiedad Pública, cajas 24-25 (Cabo Rojo), 311-315 (Planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico en los manglares de Cabo Rojo que estaban bajo su jurisdicción durante los años forestales de 1877-78 a 1888-89).

Manglar 1. Manglar de los barrios de Guanajibo, Joyuda, Miradero, Puerto Real y parte del Boquerón, o sea, desde Guanajibo al Boquerón.

Manglar 2. Manglar Baldío de los manglares del Boquerón.

Manglar 3. Manglar de Las Salinas, Pasajes, Barrancas y otros, o sea, desde el Boquerón a la jurisdicción de San Germán.

manglar rojo (*Rhizophara mangle*) el cual a vez era una especie subordinada en los manglares de Cabo Rojo, de que bajo la catalogación de esteras de leña se incluían las procedentes de toda especie de manglar, y, de que el precio promedio era superior para las esteras de leñas en relación a las cortezas del manglar.

Las subastas efectuadas en los manglares de Cabo Rojo que estaban sujetos a los planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico durante los años de 1877-78 a 1888-89 denota que de 23 propuestas de subastas solamente dos de ellas (8.70 por ciento) fueron efectuadas. Estas correspondieron a los años de 1883-84 en el Manglar de los barrios Guanajibo, Joyuda, Miradero, Puerto Real y parte del Boquerón, y, en 1884-85 en el Manglar de Las Salinas, Pasajes, Barrancas y otros. (AGPR, Obras Públicas, Propiedad Pública, caja 25 Expedientes de las subastas realizadas en los manglares de Cabo Rojo sujetos a los planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico durante los años forestales de 1883-84 y 1884-85). El primero de ellos fue otorgado en segunda subasta a Don Rafael Cintrón por 150.20 pesos (66.6 por ciento del valor original) y la segunda a Don Mateo Serres por 150.72 pesos en la subasta inicial. Ello señala que estas dos subastas aportaron 300.92 pesos (8.07 por ciento) de los proyectado. La poca inherencia participativa del público en las subastas de los planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico en los manglares de Cabo Rojo que estaban bajo su jurisdicción durante los años de 1877-78 a 1888-89 señala que ante una falta de vigilancia efectiva del manglar, los planes de aprovechamiento forestal a base de subastas no eran opción, y, de que cuando ello era viable existía una oportunidad adicional a la primera subasta que no se efectuaba con una reducción de un 33.3 por ciento de la propuesta original.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo se llevó a cabo en colaboración con la Universidad de Puerto Rico.

BIBLIOGRAFÍA

- Archivo Histórico Nacional (Madrid) (en adelante AHN), Ultramar, Fomento de Puerto Rico, Legajo 349, Expediente 3, Documento "Real Decreto del 25 de febrero de 1875 por SM Alfonso XII ordenando el restablecimiento de la Inspección de Montes de Puerto Rico".
- La Inspección de Montes de Puerto Rico había sido suprimida por razones de índole económica en 1870. En ese momento los alegatos de naturaleza económica adquirieron prioridad sobre aquellas de carácter conservacionista.
- AHN, Ultramar, Fomento de Puerto Rico, Legajo 350, Expediente 5, Documento "Ordenanzas de Montes para las Provincias de Cuba y Puerto Rico- 21 de abril de 1876".
- Con anterioridad a esa fecha, la gente de mar obtenía de parte de la Comandancia de la Marina los aprovechamientos de mar de forma gratuita.
- AHN, Ultramar, Fomento de Puerto Rico, Legajo 350, Expediente 6, Documento 2.
- Archivo General de Puerto Rico (en adelante AGPR), Obras Públicas, Propiedad Pública, caja 24 (Cabo Rojo).
- Expediente de Monte del Estado denominado Manglar de Las Salinas, Pasajes, Barrancas y otros Expediente del Monte del Estado denominado Baldío de los Manglares del Boquerón Expediente del Monte del Estado denominado Manglar de los barrios Guanajibo, Joyuda, Miradero, Puerto Real y parte del Boquerón, Expediente sobre apeo, deslinde y tasación por la Inspección de Montes de varios terrenos del Estado declarados enagenables.
- AGPR, Obras Públicas, Propiedad Pública, caja 25 (Cabo Rojo) Expediente de las subastas realizadas en los manglares de Cabo Rojo sujetos a los planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico durante los años forestales de 1883-84 y 1884-85.
- AGPR, Obras Públicas, Propiedad Pública, cajas 24-25 (Cabo Rojo) Planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico para los manglares de Cabo Rojo que estaban bajo su jurisdicción durante los años forestal de 1877-78 a 1888-89.
- AGPR, Obras Públicas, Propiedad Pública, caja 148 "Relación detallada de las fincas pertenecientes al Estado, según antecedentes que obran en el Centro, cuya data facilita la Inspección de Montes para los efectos que puedan convenirle".
- AGPR, Obras Públicas, Propiedad Pública, cajas 311-315 Planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico durante los años forestal de 1877-78 a 1888-89.

EL KARST DE PUERTO RICO

María A. Juncos Gautier
Escuela de Asuntos Ambientales
Universidad Metropolitana
Cupey, Puerto Rico 00928

¿QUÉ ES EL KARST?

Se le llama karst, karso, carso o formaciones cársticas al área de la superficie terrestre que se compone mayormente de rocas que tienen una composición mineral de carbonato de calcio (CaCO_3) y que son solubles por la acción erosiva corrosiva de las aguas ácidas (o aciduladas). Las aguas ácidas son aquellas que en su composición química contienen ácidos, ya sean de origen atmosférico, orgánico o ambos. En el karst la acción erosiva y corrosiva es el resultado de la precipitación del agua que recoge el dióxido de carbono (CO_2) del aire y, al entrar en contacto con el suelo, por los materiales orgánicos en descomposición, recoge más CO_2 y se vuelve sumamente ácida. El agua ácida es capaz de carstificar la roca volcánica, sin embargo, a un nivel mundial, el 90 por ciento del karst está en rocas carbonatadas sedimentarias (Núñez Jiménez *et al.* 1984).

Por lo tanto, cuando nos referimos al karst nos referimos no sólo al tipo de roca sino también a una acción química ambiental capaz de disolver y corroer esa roca. Cuando se habla de una región cárstica, se refiere a la morfología cárstica, la manifestación del karst: la cueva, el sumidero, el mogote, etc. Es más que simplemente la fisionomía de una región; define un conjunto de procesos ambientales activos y en desarrollo.

La palabra karst proviene del nombre de una enorme meseta caliza, localizada entre la frontera de Yugoslavia e Italia, donde se estudió y describió el fenómeno por primera vez por espeleólogos austriacos (N. Veve coin. pers.). Los espeleólogos son los estudiosos de la espeleología, la ciencia que estudia las cuevas y todo lo relacionado con ellas.

Alrededor de una tercera parte del territorio de Puerto Rico es cárstico. La región cárstica más grande y extensa es la franja del norte de Puerto Rico, entre Aguadilla y Loíza. Esta región tiene los procesos de corrosión y disolución de mayor manifestación morfológica. Una segunda región cárstica de gran extensión se encuentra al suroeste, entre Ponce y Cabo Rojo. Aquí los procesos de corrosión y disolución apenas son notables. También, diseminados por la región montañosa volcánica del centro de la Isla se encuentran algunos afloramientos calizos (Fig. 1). Más adelante, este trabajo cubrirá las regiones cársticas de Puerto Rico, enfatizando la franja caliza del norte, considerada la más importante en aspectos hidrológicos e hidrogeológicos. La hidrología es el estudio del agua y el ciclo hidrológico. Hidrogeología es el estudio del agua en el subsuelo o en formaciones geológicas saturadas.

Rocas Carbonatadas

Según Núñez Jiménez *et al.* (1984), hay cuatro criterios básicos en la clasificación del origen de las rocas carbonatadas:

1. **Origen biológico** – El 95 por ciento de las rocas carbonatadas son de origen biológico. Son las más abundantes en el mundo. Se forman en las plataformas continentales o insulares que componían los mares llanos como resultado de los depósitos y residuos de los esqueletos de organismos marinos que habitaban allí hace millones de años. Al pasar el tiempo, estos depósitos se solidificaron y compactaron en estratos en lo que conocemos como roca caliza. Las expresiones topográficas más espectaculares de las rocas calizas son las de arrecife de coral que se formaron por las

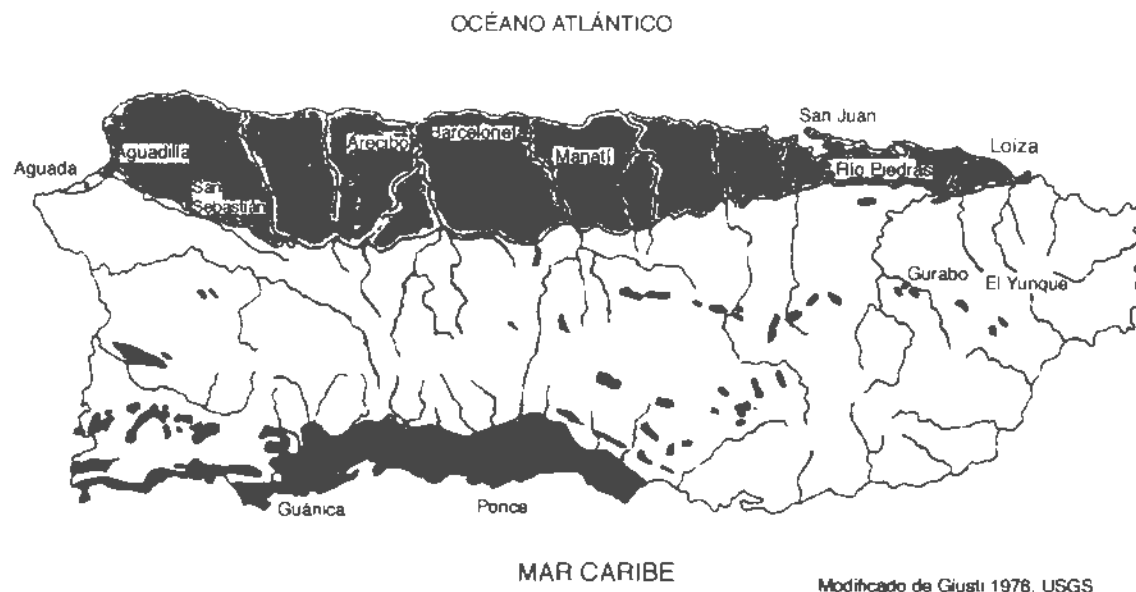


FIGURA 1. Ubicación de las regiones cársticas de Puerto Rico (con leve modificación de Briggs y Akers 1965). En color gris se pueden apreciar las franjas cársticas de la costa norte y la costa sur. Diferentes afloramientos cársticos también se pueden apreciar en color negro a través de la Isla. Estos últimos son los más antiguos del Cretáceo y el Terciario medio.

acumulaciones de colonias coralinas compuestas de calcita y aragonita, dos variedades cristalinas del carbonato de calcio. En estas colonias coralinas se acumulan huesos de peces, conchas de moluscos, erizos y muchos otros restos orgánicos de composición calcárea que, con el tiempo, se consolidaron hasta convertirse en rocas calizas. Las calizas se dividen en calizas biogénicas, constituidas por restos orgánicos casi intactos (los fósiles orgánicos prácticamente se pueden separar con un cuchillo) y calizas biotriticas, compuestas de fragmentos comprimidos de fósiles orgánicos. En Puerto Rico, como en Cuba y otras islas del Caribe, la mayoría de las rocas carbonatadas son de origen biológico.

2. **Origen evaporítico** – Son aquellas rocas carbonatadas que se forman por la evaporación, en cuencas sedimentarias cercanas al mar, donde la circulación de las aguas está sumamente restringida. Como

resultado, esto provoca la saturación y sobresaturación de sales hasta que comienzan a precipitarse hacia el fondo de la cuenca. De esta manera se depositan una serie de sales naturales y varios carbonatos, entre ellos la calcita (carbonato de calcio) y la dolomita (carbonato de calcio y magnesio).

3. **Origen clástico** – Son las rocas carbonatadas formadas como resultado de la acumulación de fragmentos de rocas calcáreas (clastos) preexistentes. Básicamente, son macizos que cayeron de montañas o fueron movidos por las corrientes de los ríos.
4. **Origen químico** – Son acumulaciones cristalinas en los interiores cavernarios que se conocen como formaciones secundarias o espeleotemas (estalactitas, estalagmitas, etc.)

La composición mineral es otro de los criterios importantes para la clasificación de las rocas

carbonatadas. Entre los minerales que las forman, las que tienen mayor importancia para los procesos cársticos lo son la calcita y la dolomita. El 99 por ciento de las cavidades subterráneas se desarrollan en calcita (CaCO_3). Puede tener como impurezas magnesio, hierro o manganeso. También, puede estar mezclada con otros minerales como la limonita, oligisto (mineral de las rocas ígneas o volcánicas que se forman mediante la cristalización de roca derretida o magma) o con materia orgánica, arcilla o arena. Cuando pura, es incolora y presenta brillo vítreo. Cuando se mezcla con algunas impurezas puede ser blanca, amarillenta y tomar aspecto terroso y opaco. Cuando tiene magnesio se llama dolomita. Su color varía entre blanco, rojizo, amarillo, pardo o negro. Presenta un aspecto vítreo o perlado y puede ser translúcida (Núñez Jiménez *et al.* 1984).

La calcita y la dolomita son solubles por los ácidos orgánicos, en especial el ácido carbónico que se encuentra con abundancia en la naturaleza. La actividad de los ácidos orgánicos sobre las rocas carbonatadas ha dado lugar a la formación de complicados y extensos sistemas de galerías subterráneas. Según la composición mineral de las rocas carbonatadas, se reconocen dos grandes grupos, las calcáreo-dolomitas y las margosas. Las calcáreo-dolomitas se dividen en (Núñez Jiménez *et al.* 1984):

En las margas y margas calcáreas se desarrollan conductos subterráneos como resultado del proceso de disolución, pero siempre en relación con las grietas que dividen las formaciones rocosas. Las rocas del grupo calcáreo-dolomítico son las que sufren los procesos de mayor disolución y en ellas pueden formarse los sistemas más extensos y amplios de conductos y galerías subterráneas (Núñez Jiménez *et al.* 1984).

Otro criterio importante para la clasificación de las rocas carbonatadas es su granulometría y textura. Respecto a la granulometría, las rocas se clasifican de acuerdo al tamaño de los granos o cristales que la componen. La carstificación es más efectiva en las rocas con granos o cristales pequeños porque tienen más resistencia al agua, dándole entonces más tiempo a la misma a actuar y disolver la roca. La textura es el conjunto de las características macroscópicas de las rocas que incluye la estratificación (superposición o sucesión de las capas de rocas en la geología de un territorio que ayuda a estudiar su evolución geológica) y la porosidad. Esto, junto a las grietas y las fallas, constituyen vías naturales de acceso que tienen las aguas acídicas para atravesar los macizos de rocas carbonatadas y que dan origen a los conductos y cavidades subterráneas (Núñez Jiménez *et al.* 1984).

Composición de
Arcilla Calcita Dolomita
(Por ciento) (Por ciento) (Por ciento)

Caliza	0-5	90-100	0-5	Se forman el 99 por ciento de las cuevas
Caliza-dolomita	0-5	80-65	15-35	Cuando gana magnesio
Dolomita-calcítica	0-5	15-35	80-65	Cuando pierde magnesio
Dolomita	0-5	0-5	100-90	

Las rocas margosas:

Composición de
Arcilla Calcita
(Por ciento) (Por ciento)

Arcilla	95-100	5-0	No se forman cuevas
Arcilla calcárea	75-95	25-5	No se forman cuevas
Marga arcillosa	50-75	50-25	No se forman cuevas
Marga	25-50	75-50	Se forman cuevas
Marga calcárea	5-25	95-75	Se forman cuevas

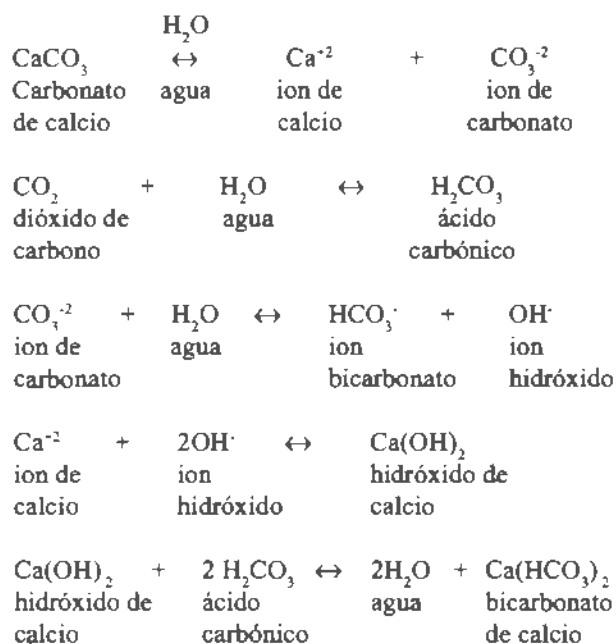
Factores Pasivos y Activos

Los factores de origen, composición mineral, granulometría y textura son importantes en el desarrollo de las formaciones cársticas debido a que son parte de los factores pasivos o estructurales que influyeron en la evolución de éstas. Los factores pasivos incluyen la situación espacial, el espesor, la extensión y el carácter de las rocas solubles (estratificación, agrietamiento, porosidad, composición física y química de las rocas). Los factores activos son los climáticos que incluyen la temperatura y las características del agente disolvente, en este caso el caudal y la química del agua enriquecida con ácidos de origen atmosférico y orgánico.

La Química de la Disolución

El fenómeno de carstificación en Puerto Rico se ha formado, fundamentalmente, sobre caliza, compuesta mayormente por carbonato de calcio, aunque también se ha desarrollado sobre otras rocas en mucha menos proporción (Monroe 1976, Giusti 1978).

En términos químicos, la forma simplificada que explica el proceso de disolución de la roca caliza al mezclarse con el agua ácida, según se explicó anteriormente, es como sigue:



Hay otros ácidos presentes en el suelo, como el ácido nítrico (HNO_3) que se deriva del ciclo del nitrógeno que ha sido fijado por las bacterias, pero el CO_2 es el más activo en la disolución de las rocas calizas y la mayoría se forma en el subsuelo (White 1988, Fetter 1994).

Origen Biológico del Karst

Las rocas carbonatadas de origen biológico, mencionadas anteriormente, son el resultado de los residuos de los esqueletos de organismos marinos que fueron depositados en el fondo de mares poco profundos (plataformas continentales e insulares) hace millones de años. Mientras las placas tectónicas de la corteza de la superficie de la Tierra se desplazaban y se unían, los estratos sedimentarios del fondo de estos mares eran desmoronados y quebrantados. Eventualmente, el fondo de estos mares fue empujado hacia arriba por movimientos geológicos y se formaron montañas calcáreas. Esto sucedió durante el periodo del Terciario medio de la era Cenozoica. Los continuos movimientos de la superficie terrestre a través de millones de años produjeron fallas y fracturas en estas rocas calcáreas. A la vez, varios estratos de las rocas fueron expuestos a la intemperie. La acción corrosiva y erosiva de los elementos naturales de la intemperie desgastaban los lechos de las cortezas calcáreas más débiles. Por esto la fisionomía cárstica se caracteriza por paisajes muy particulares y variados en diferentes partes del mundo.

Algunas áreas cársticas reciben nombres relacionados con el clima. En Puerto Rico, por ejemplo, cuando se habla de la franja cárstica del norte de Puerto Rico, muchos se refieren al karst tropical. Esto se debe a los procesos químicos relacionados al tipo de clima subtropical sobre estas formaciones, el ciclo hidrológico y las características edáficas del lugar (Monroe 1976, White 1988). Científicos también han clasificado el karst según su geomorfología y los tipos de suelo que cubren este paisaje. Según White (1988), en Puerto Rico la topografía dominante cárstica es la de conos y de torres. La misma se puede apreciar con facilidad en el norte centro y noroeste de Puerto Rico (Fig. 2), pero también hay llanuras cársticas, karst litoral, karst pantanoso y karst pavimentado, según se explica más adelante.

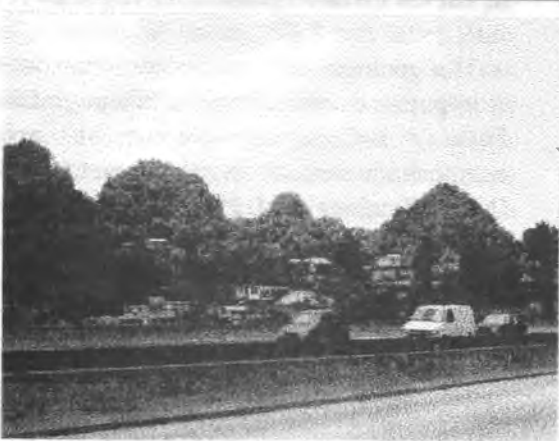
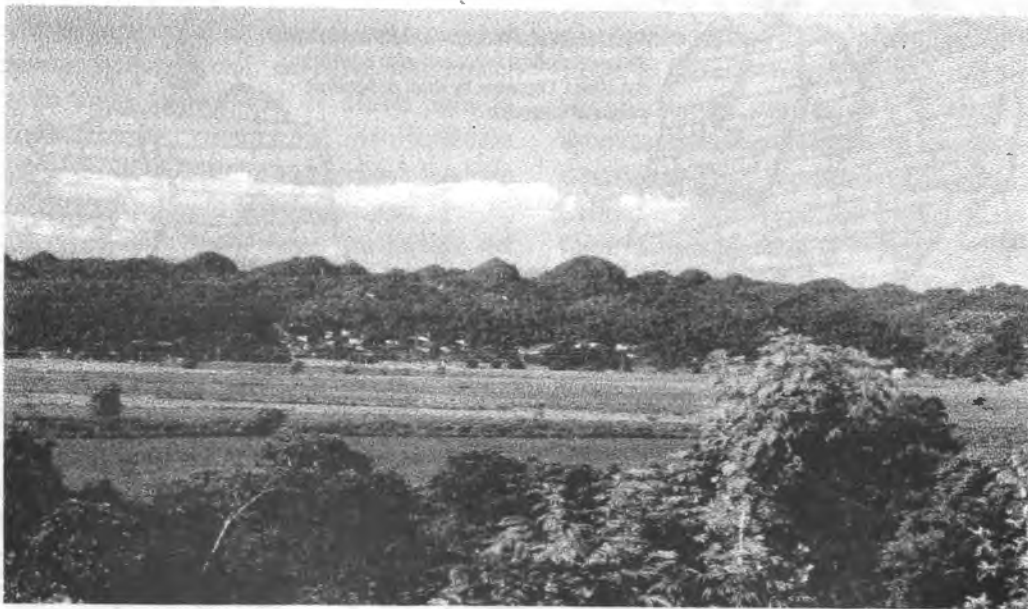


FIGURA 2. La topografía cárstica de conos y torres es la de mayor manifestación morfológica en Puerto Rico, sobre todo en el norte-centro y noroeste de la isla.



Fotos: María A. Juncos-Gautier

Variables que Controlan el Karst

Tres variables químicas controlan el desarrollo del paisaje cárstico: (1) la cantidad de agua disponible, (2) la cantidad de dióxido de carbono disponible (en la atmósfera y el suelo), y (3) la temperatura del ambiente (White 1988). Los climas húmedos y calientes son químicamente diferentes a los climas calientes y secos. Esto afecta los procesos cársticos y, por ende, su manifestación morfológica. En Puerto Rico, por ejemplo, el karst del norte húmedo es muy diferente al karst del sur que se desarrolló en un clima mucho más seco, según se explicará también más adelante.

En términos físicos, la fuente de energía para la circulación del agua subterránea es la gravedad de la Tierra y, en menor medida, la presión hidrostática. La acción de la gravedad atmosférica, sobre todo en las tierras altas, dirige las aguas sobre y a través de la masa rocosa, siempre hacia los niveles más bajos donde se encuentran las corrientes de agua como los ríos y, finalmente, hacia el océano. Los declives

e inclinaciones hidráulicas proveen la fuerza física impulsiva primaria y su representación morfológica es el relieve del paisaje cárstico (White 1988) (Fig. 3).

El cuadro estructural también influye, por ejemplo, la existencia, inclinación, frecuencia y desarrollo de fallas y grietas. Estas fueron originadas, mayormente, por movimientos tectónicos a través de los años. El tamaño y la densidad de las fracturas, su extensión lineal y su orientación son importantes para definir la dirección del movimiento de las aguas subterráneas y superficiales, y para establecer el patrón del desarrollo de porosidad secundaria y, eventualmente, de cuevas (White 1988).

La geología de las rocas carbonatadas también es importante para determinar la topografía cárstica. Esta se refiere, nuevamente, al origen, la composición mineral, la granulometría y la textura (Núñez Jiménez *et al.* 1984).

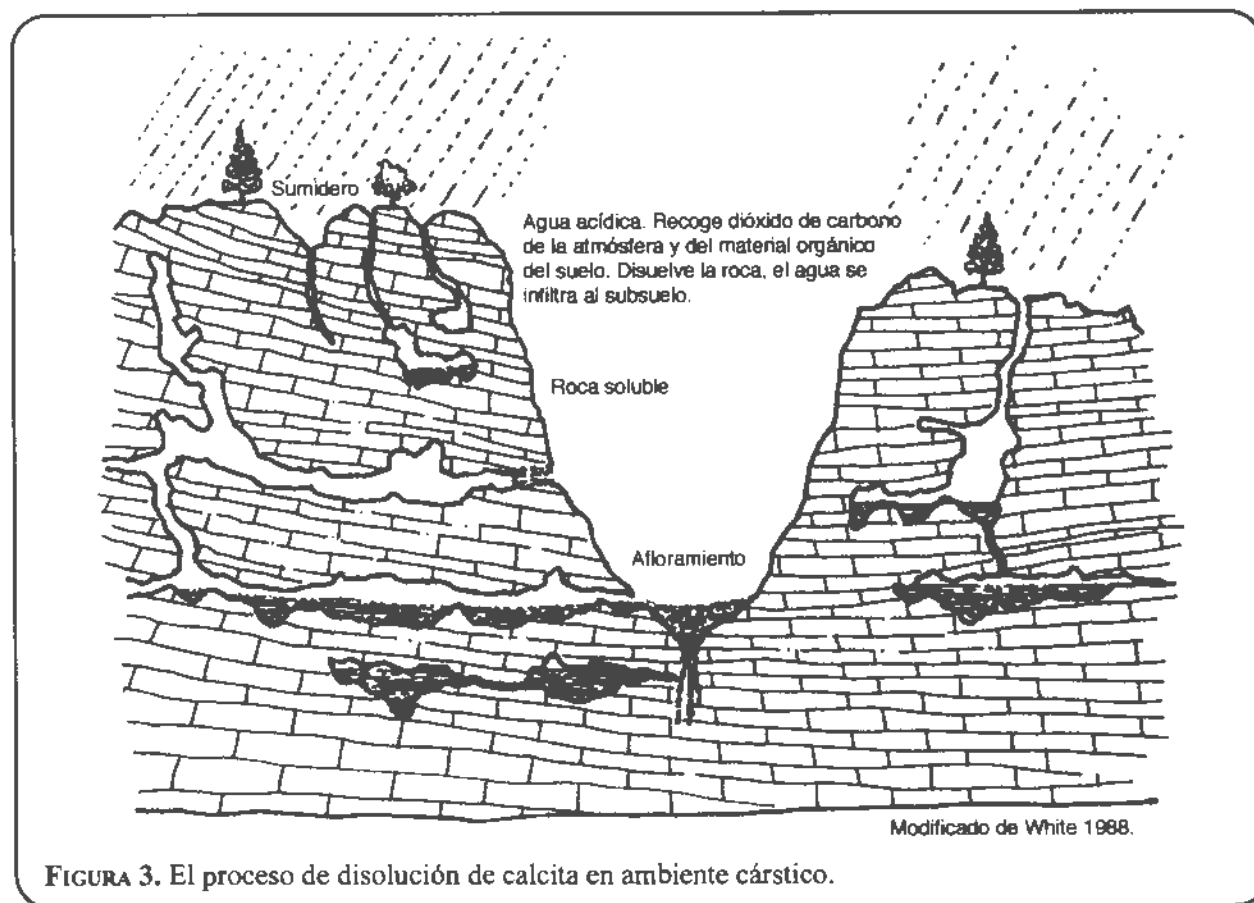


FIGURA 3. El proceso de disolución de calcita en ambiente cárstico.

En resumen, variables químicas, físicas y estructurales definen los tipos de karst. El aspecto hidrogeológico es la estructura principal dentro del cual los procesos cársticos están restringidos y obligados a trabajar. Cualquier paisaje cárstico debe ser estudiado usando como base la variabilidad en los procesos hidrogeológicos ya que es esto lo que determina los tipos y la extensión de los mismos.

Tipos de Topografía Cárstica

Según White (1988), los tipos de topografía cárstica son: (1) karst de dolina (*doline karst*), (2) karst de gallera (*cockpit karst*), (3) karst de conos y torres (*cone and tower karst*), (4) karst fluvial (*fluvio karst*), (5) karst pavimentario (*pavement karst*), (6) karst de polje (*polje karst*), (7) karst laberíntico (*labyrinth karst*), y (8) karst de cueva. Estas topografías son definidas por la fisionomía de arreglos casuales, pero repetitivos y dominantes, de un grupo determinado de formas cársticas terrestres donde influyen los aspectos químicos, físicos e hidrogeológicos mencionados anteriormente, además de la cobertura del suelo. Núñez Jiménez *et al.* (1984) también clasificaron los tipos de karst basándose en los aspectos anteriores (Apéndice 1).

HIDROLOGÍA CÁRSTICA

En terreno cárstico, el ciclo del agua superficial es tan importante como el ciclo del agua subterránea. El ciclo de agua superficial es clave para la formación del relieve cárstico, su manifestación morfológica. El ciclo de agua subterránea también juega un papel sumamente importante para ambos, tanto las formas del relieve como las formas del subsuelo.

Ciclo del Agua Superficial

El ciclo de agua superficial es muy conocido y los procesos generales son similares en todas partes del planeta. En forma general, las nubes están formadas por vapor de agua que, cuando se condensa, cae en forma de lluvia. Tan pronto el agua de lluvia o pluvial toca el terreno, cambia de nombre a agua vadosa. El agua vadosa corre por las pendientes del terreno hasta llegar a un río donde se convierte en agua fluvial. El agua fluvial se

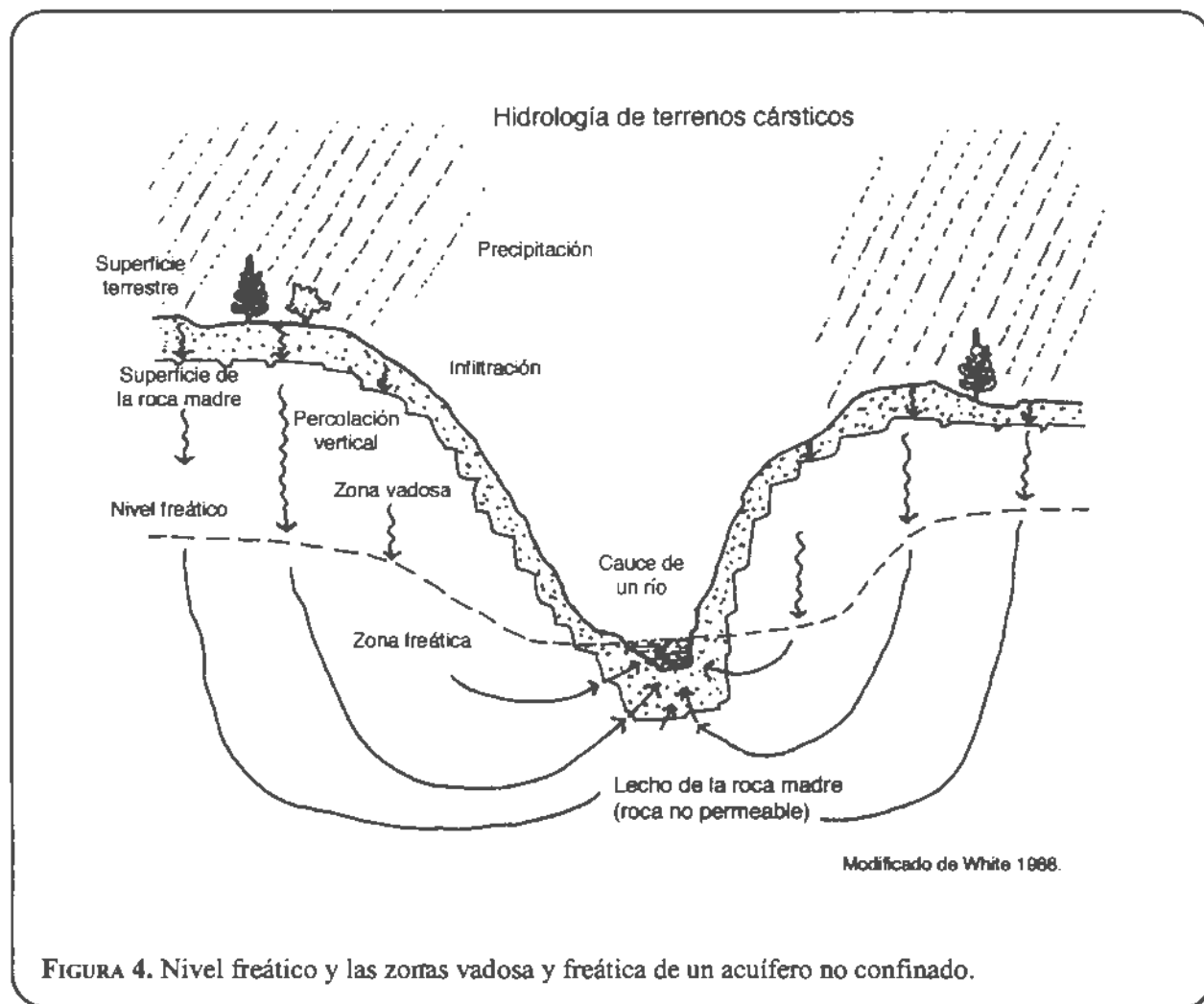
incorpora al río y continúa su camino hasta desembocar en el mar, donde se convierte en agua marina. Parte de esta agua pasa al proceso de evapotranspiración durante su recorrido para convertirse nuevamente en vapor de agua en la atmósfera.

Ciclo del Agua Subterránea

El ciclo de agua subterránea es el menos conocido y, para los propósitos de este trabajo, el más importante. (Fig. 4). De hecho, este ciclo es el proceso activo más importante para la formación de los conductos subterráneos y acuíferos cársticos como resultado de los procesos químicos que se llevan a cabo, según se explicó anteriormente en la fórmula química del proceso de disolución de rocas carbonatadas.

El ciclo del agua subterránea comienza cuando una parte considerable del agua de lluvia se infiltra al subsuelo, siguiendo la pendiente de la tierra. El agua superficial no sólo percola lentamente a través de los estratos del subsuelo, sino que también fluye rápido a través de depresiones circulares cerradas en forma de embudos, a veces cilíndricos, conocidos como sumideros, y a través de grietas, brechas y fracturas en la roca. Esta actividad continúa acentuándose por los procesos de corrosión y disolución de las aguas pluviales ácidas que, al llegar al suelo y recoger el CO_2 del mismo (por la abundancia de vegetación y material orgánico en descomposición, sobre todo en los suelos tropicales), contribuye a que la misma sea aún más ácida para ayudar a intensificar los procesos de disolución (Núñez Jiménez *et al.* 1984).

El agua ácida de la zona no saturada o zona vadosa (la zona del subsuelo inmediatamente después de la superficie), va abriendo conductos verticales o subverticales en su recorrido. Durante su infiltración, parte de esta agua puede llegar hasta la superficie de lechos de rocas impermeables (substrato impermeable) donde queda atrapada, mientras el resto continúa su recorrido. Esto puede suceder en varios niveles de los estratos de las rocas. El agua que se acumula en el subsuelo sobre los lechos impermeables, con el tiempo se satura con diferentes minerales. Por otro lado, un acuífero



artésiano es un sistema de agua subterránea bajo presión. Cuando una capa de estratos permeables queda limitada o confinada por estratos impermeables, se origina un acuífero confinado. Cuando esta condición se presenta en una estructura en que los estratos están inclinados, el agua contenida está sometida a presiones hidrostáticas elevadas. A este tipo de condición se le conoce como acuífero artésiano (Núñez Jiménez *et al.* 1984, O. Fontan com. pers. y S. Torres com. pers.).

El resto del agua sigue percolando hasta que se encuentra con el manto freático que se mueve lentamente hacia el área de descarga. El manto freático es la elevación del agua subterránea en un sistema no confinado. El nivel freático es el tope de la zona saturada del acuífero no confinado. La elevación puede ser en términos absolutos (cuando

se mide la elevación del manto freático en relación a un punto de mensura como, por ejemplo, la medida de la profundidad en la que se encuentra el agua), o en términos relativos (cuando se mide la elevación en relación a un dato ya establecido como, por ejemplo, el nivel del agua en el acuífero relativo al nivel del mar cuyo dato es 0 metros). El flujo de agua subterránea se mueve desde un punto de mayor elevación a un punto de menor elevación. Esta zona recibe el nombre de zona de saturación o zona freática. El agua de la zona freática continúa siendo ácida, o sea, continúa corroyendo y diluyendo la roca por donde está circulando dependiendo del balance estequiométrico y el grado de saturación de calcita. El manto freático oscila de acuerdo con la recarga de lluvia. Hay momentos que tiene un nivel máximo en los meses de mayor precipitación pluvial o un nivel mínimo en los meses de menor

precipitación pluvial. Esto genera una zona de oscilación donde se mezclan las aguas de la zona no saturada con las aguas de la zona saturada. Un principio básico de la hidrología es que siempre que se mezclen dos aguas, el agua resultante será extraordinariamente agresiva. Por lo tanto, en esta zona se libera más CO_2 en forma gaseosa, lo que promueve la formación de ácido carbónico (H_2CO_3) que a su vez promueve la acción de disolución de las rocas carbonatadas con gran intensidad abriendo más conductos subterráneos. Es en esta zona donde se forman las cuevas de mayor tamaño ya sean verticales, horizontales y/o laberínticas.

Todo flujo de agua subterránea en la zona cárstica, luego de transportarse a través de fracturas en algún momento de su trayectoria, finaliza en un río subterráneo y, eventualmente, termina siendo agua fluvial (río superficial) o, también, puede terminar saliendo al mar subterráneamente. Los afloramientos de las aguas subterráneas se llaman ojos de agua, manantiales o salideros naturales. Estos pueden brotar de las paredes de las montañas y formar riachuelos o ríos superficiales, o pueden emanar de áreas llanas en la superficie de la tierra y convertirse en fuentes de agua de ciénagas o pantanos. Aquí el ciclo de agua subterránea vuelve a formar parte del ciclo de agua superficial. El ciclo hidrológico subterráneo hace que en las regiones cársticas la red de drenaje superficial sea más limitada en comparación a otras regiones porque una cantidad considerable del avenamiento se realiza por los conductos subterráneos. (Núñez Jiménez *et al.* 1984 y S. Torres com. pers.).

LAS CUEVAS

La formación cárstica más conocida mundialmente, por su misteriosa y fascinante belleza, es la cueva. El término cueva se refiere a una cavidad que ha sido formada naturalmente debajo de la tierra con una entrada lo suficientemente amplia para que una persona pueda entrar. Además, tiene bastante profundidad como para que haya áreas de la misma que se encuentren en completa oscuridad (Sociedad Espeleológica del área de Richmond 1993). Algunas cuevas son pequeñas en tamaño y otras se extienden por millas.

Hay varios tipos de cuevas como, por ejemplo: cuevas de tubos de lava que se forman luego de que la lava de un volcán se enfría, cuevas de mar o de viento que se forman a través de la acción erosiva del viento y las olas, y cuevas de talud que se forman al haber una apertura entre grandes piedras colapsadas y sueltas. Pero las más comunes, las más grandes y largas, son las cuevas de disolución en las rocas carbonatadas. Las grietas y fracturas de las rocas carbonatadas, a través de la acción de disolución, erosión y corrosión de las aguas aciduladas por miles de años, se van ampliando en pasillos y canales sobre, en y debajo del manto freático. Estos pasillos y canales que pueden llegar a convertirse en grandes cavidades subterráneas, también pueden interconectarse eventualmente. Los pasillos de las cuevas casi siempre siguen la ruta de las grietas entre los estratos horizontales o entre los lechos de las rocas, y a lo largo de fracturas verticales o grietas. A través de miles de años la erosión que ocurre en la superficie de la tierra y los ríos abren y profundizan valles nuevos. El nivel freático entonces baja lentamente. Mientras el nivel freático baja, el aire llena los espacios subterráneos que se quedan abiertos formando cuevas (Sociedad Espeleológica del área de Richmond 1993).

Según Núñez Jiménez *et al.* (1984), hay una gran variedad de cuevas y se clasifican, mayormente, por su tamaño (Tabla 1), aunque también se pueden clasificar por su genética, hidrología y morfología. Dentro de las cuevas se forman los espeleotemas, las diferentes formaciones cavernarias de gran belleza de las cuales las estalactitas y las estalagmitas son las más conocidas (Apéndice 2, Fig. 5a, b y 6).

Muy poco se sabe verdaderamente sobre los ecosistemas subterráneos de Puerto Rico y hay mucho trabajo científico por realizar. Según geólogos, espeleólogos y exploradores de cuevas, se estima que en Puerto Rico hay sobre 2,000 cuevas. De éstas se han explorado, aproximadamente sólo unas 400 (N. Veve com. pers.).

El sistema de cuevas más conocido en Puerto Rico es el Sistema del Río Camuy entre los municipios de Lares, Camuy y Hatillo. Una sección de este sistema se ha comercializado como atracción turística bajo el Fideicomiso de Parques Nacionales

TABLA 1. Clasificación espeleométrica de las cavidades subterráneas. Acuerdo del Simposio XXX Aniversario de la Sociedad Espeleológica de Cuba (1970).

Tipo	Descripción
Abrigo rocoso	Cavidad que deja un espacio para guarecer a una persona o grupo de éstas.
Gruta	Cavidad de un salón subterráneo.
Cueva	Cavidad formada por varios salones y galerías hasta un largo total que no exceda un kilómetro.
Caverna	Cavidad de galerías y salones que pasa de un kilómetro y no excede de diez.
Gran Caverna	Cavidad de galerías y salones que pasa de diez kilómetros de desarrollo total.
Sistema subterráneo	Cavidades abiertas en una región cárstica que posean unidad hidrogeológica y geomorfológica, con o sin comunicación directa subterránea, y atravesables por el ser humano.
Cuenca con cauces y galerías subterráneas con o sin comunicación	Cuevas y ríos subterráneos originados por el río principal y sus tributarios de una cuenca fluvial en zonas cársticas.

de Puerto Rico. Según los espeleólogos, el Sistema del Río Camuy en su máxima creciente podría considerarse uno de los ríos subterráneos más caudalosos del mundo (N. Veve com. pers.). También, el sistema cavernario con el pasillo de río subterráneo continuo, sin interrupciones, más largo del mundo, atravesable por el ser humano y hasta el momento explorado, es el Sistema de Río Encantado (16.9 km). El mismo se encuentra entre los municipios de Florida, Ciales y Manatí (Swicegood y Downey 1986, de acuerdo a Kambesis 1996 y N. Veve com. pers.). Para una isla tan pequeña, en términos del mundo subterráneo, el karst de Puerto Rico es impresionante y ofrece un amplio margen de oportunidades de estudio e investigación para la comunidad científica y la sociedad.

GEOLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL KARST DEL NORTE DE PUERTO RICO

Aspectos Generales

Como se destacó a principios de este trabajo, una tercera parte del territorio de Puerto Rico es cárstico (Fig. 1). La región cárstica más importante y extensa, donde los procesos cársticos son más notables, es la franja del norte de Puerto Rico, entre Aguadilla y Loíza. Esta franja de roca caliza ha sido estudiada en detalle por Watson Monroe (1976), Ennio V. Giusti (1978) y Jesús Rodríguez Martínez (1995), entre las más reconocidas publicaciones del *U.S. Geological Survey* (USGS por sus siglas en inglés o, en español, el Servicio Geológico de los Estados Unidos). La segunda región cárstica de mayor extensión es la del suroeste, entre Ponce y Cabo Rojo, y es de carácter fragmentario. Ocupa

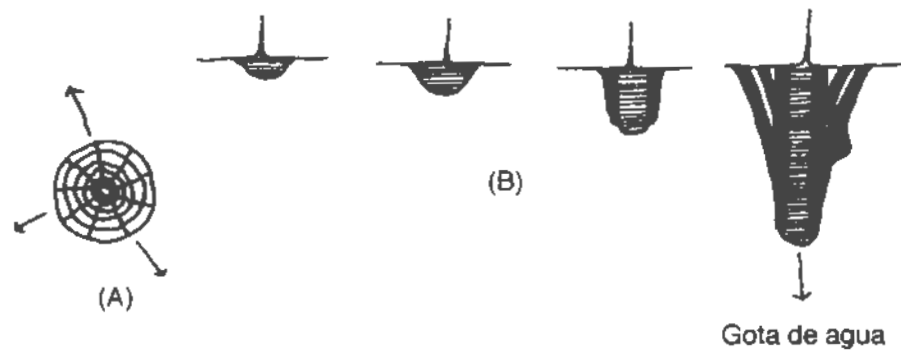
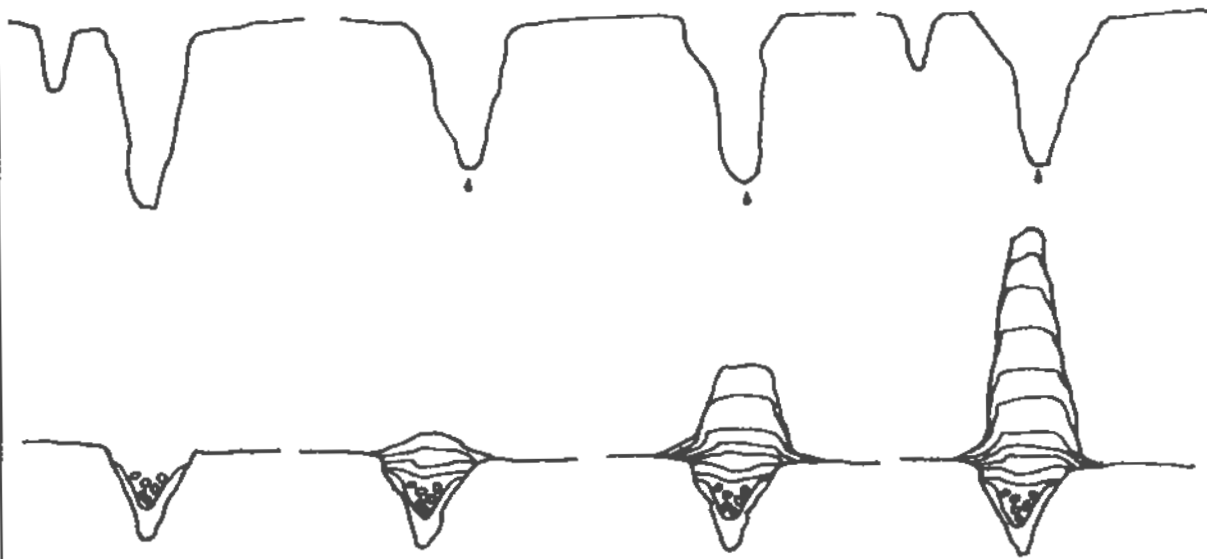


FIGURA 5a. El dibujo (A) ilustra el corte transversal del (B) donde se puede apreciar la orientación aleatoria de cristales de calcita. La ilustración (B) demuestra la formación de una estalactita: el goteo de agua mineralizada que se infiltra a través de la roca carbonatada va dejando un depósito de calcita alrededor de la gota formando una estructura que se va ensanchando y alargando. Es un proceso que toma cientos de años.



Modificado de Lowe & Waltham 1995 y White 1988.

FIGURA 5b. Corte longitudinal de una estalagmita que demuestra capas de crecimiento consecutivo y una "raíz" que se origina como un bolsillo de goteo en sedimentos donde se forman lo que llaman perlas de cueva. El goteo proviene de una estalactita. Cuando la estalactita y la estalagmita se unen forman una columna.

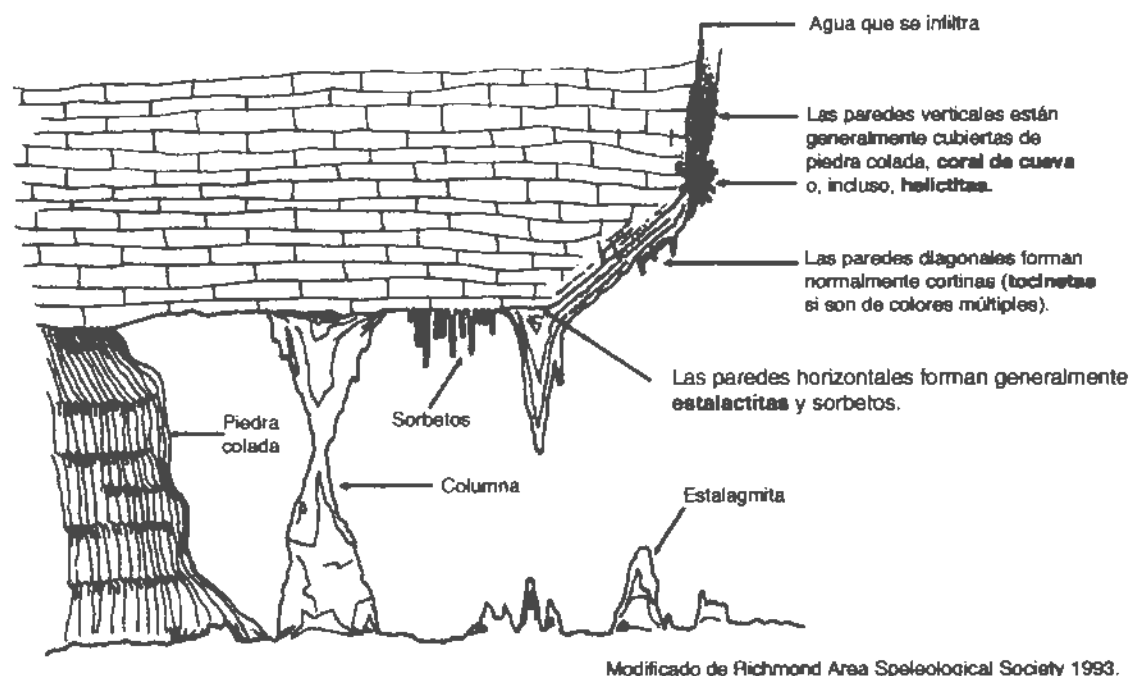


FIGURA 6. Diferentes formaciones secundarias (espeleotemas) en las cuevas.

menos área y presenta relieves de otras características por razones litoestratigráficas, climáticas y evolutivas (Monroe 1976, Acevedo González 1997). En esta región cárstica del suroeste la acción de disolución es apenas notable ya que, por factores climáticos, al ser una región seca, la precipitación es mucho más escasa y, como resultado, la actividad de los procesos cársticos es limitada. El tipo de karst que predomina, según las explicaciones de White (1988), es el karst pavimentado y el karst cubierto. Existen cuevas pero no son muy extensas, son mayormente secas y no tienen ríos subterráneos caudalosos como en el norte, exceptuando Cueva Convento en Peñuelas (N. Veve com. pers.).

Los afloramientos intermitentes cársticos de la región montañosa volcánica en el centro de la Isla son del Cretáceo, que se explotan en canteras desde Caguas, Cidra hasta Cayey. Entre ellas se encuentra el famoso Sistema Cavernario de Aguas Buenas

vinculado al Río Cagüitas. Estos afloramientos cársticos son los más antiguos pues fueron expuestos a la intemperie a la misma vez que comenzaron a ser expuestas áreas de nuestra Cordillera Central (Monroe 1976, Acevedo González 1997).

A continuación, una recopilación y análisis de los estudios realizados sobre la zona cárstica del norte de Puerto Rico por la disponibilidad de los estudios, la importancia hidrológica e hidrogeológica, y la biodiversidad vegetativa de esta zona.

Específicamente, el norte cárstico de la Isla – desde Río Grande hasta Aguadilla – es de 1,760 km² (680 mi²), aproximadamente un 19 por ciento de Puerto Rico (Molina Rivera 1997). En términos de norte-sur, el norte cárstico de Puerto Rico se extiende desde el Océano Atlántico hacia el sur, hacia la zona central de la Isla donde se encuentra con la Cordillera Central de este a oeste. El área de afloramiento de

la zona cárstica del norte de Puerto Rico de norte a sur es de aproximadamente 18 km (11 mi) de ancho cerca de Camuy y se pone más angosta hasta llegar a unos 3.62 km (2.25 mi) cerca de San Juan. (Rodríguez Martínez 1995, Molina Rivera 1997).

Por la zona cárstica del norte pasan ocho ríos principales que se originan en el terreno volcánico de la Cordillera Central y fluyen predominantemente hacia el norte y desembocan en el Océano Atlántico. Estos son: Río Guajataca, Río Camuy, Río Grande de Arecibo, Río Grande de Manatí, Río Cibuco, Río La Plata, Río Bayamón, Río Grande de Loíza (Fig. 7).

La zona cárstica tropical del norte se caracteriza por una topografía donde predomina visualmente el karst de conos y torres (Fig. 2), comúnmente conocidos como mogotes (Monroe 1976, 1980 y White 1988). En esta parte de la Isla, el proceso de disolución continúa. La zona cárstica del noreste de la Isla, que incluye los municipios de San Juan, Carolina, Loíza y parte de Río Grande, está

sumamente erosionada por el escurrimiento pluvial y las transgresiones y regresiones marinas a través de millones de años. En tiempos modernos, la actividad de disolución de la roca caliza ha sido mínima por el alto contenido de arcilla en el subsuelo. Por esto en el noreste el karst se caracteriza por muy poco relieve topográfico y por drenaje superficial no subterráneo (Monroe 1976 y S. Torres com. pers.). En términos generales de clasificación científica según White (1988) y Núñez Jiménez (1984), en Puerto Rico, además del karst de conos y torres, se pueden encontrar llanuras cársticas, karst litoral, karst pantanoso y karst pavimentado, además del karst cubierto y expuesto.

Geología

La nomenclatura estratigráfica que mayormente se utiliza para la secuencia de las edades de las rocas del periodo Terciario medio (entre 40 a 5 millones de años atrás) de la franja cárstica de la costa norte se puede apreciar en Fig. 8. Esta nomenclatura estratigráfica demuestra una secuencia de

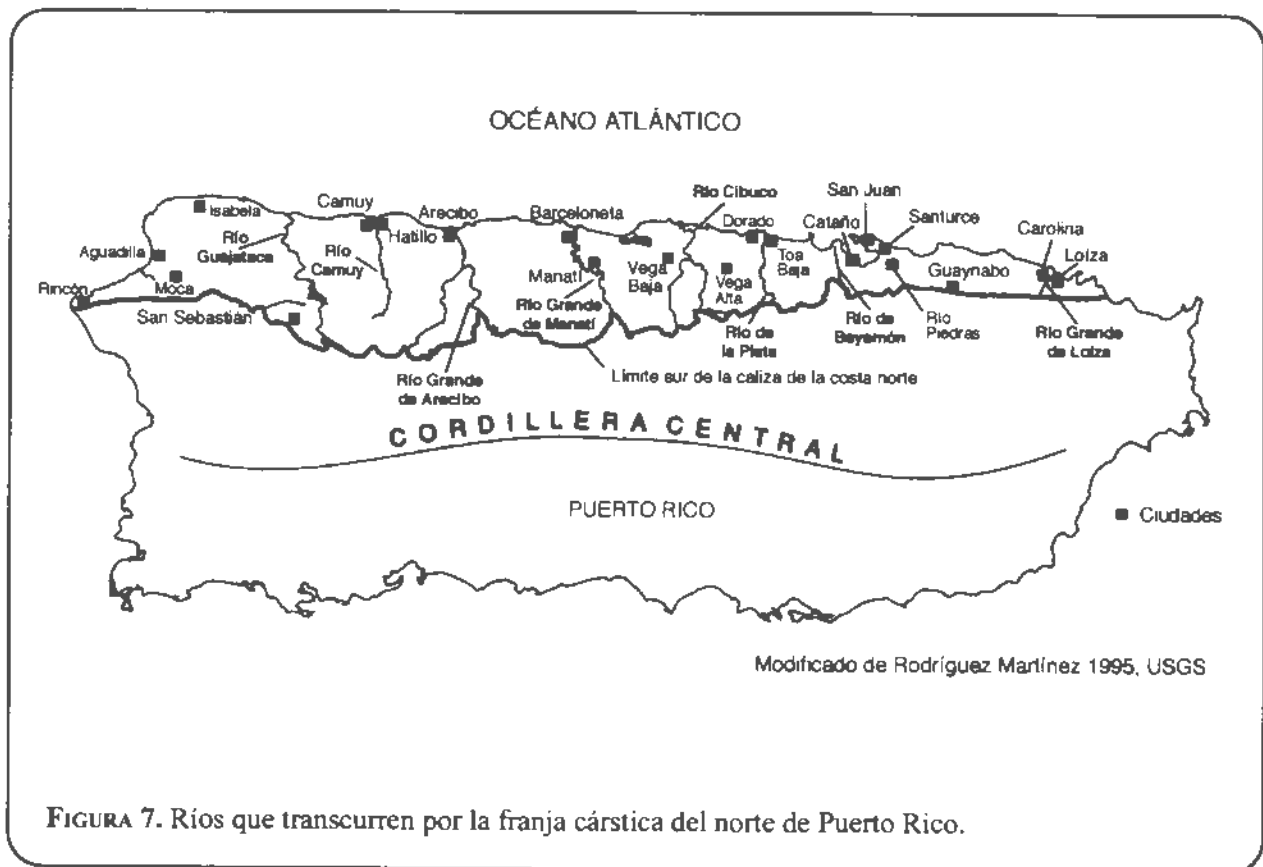


FIGURA 7. Ríos que transcurren por la franja cárstica del norte de Puerto Rico.

SISTEMA	SERIES	Caliza de la Costa Norte de Puerto Rico	
		Unidad Geológica	Unidad Hidrológica
CUATERNARIO	HOLOCENO PLEISTOCENO	Aluvial, terraza, playa y depósitos de pantano	Acuíferos valles aluviales
	PLIOCENO	Formación Camuy o Caliza Quebradillas	No es un acuífero
	MIOCENO	Tardío	
		Medio	Acuífero superior
		Temprano	Unidad confinante
			Acuífero inferior
	OLIGOCENO		Unidad confinante

Modificado de Miller, Whitehead y Olcott 1997, de Renken, Rodríguez Martínez y Gómez Gómez (en imprenta).

FIGURA 8. Secuencia estratigráfica del Terciario medio de la caliza de la costa norte de Puerto Rico.

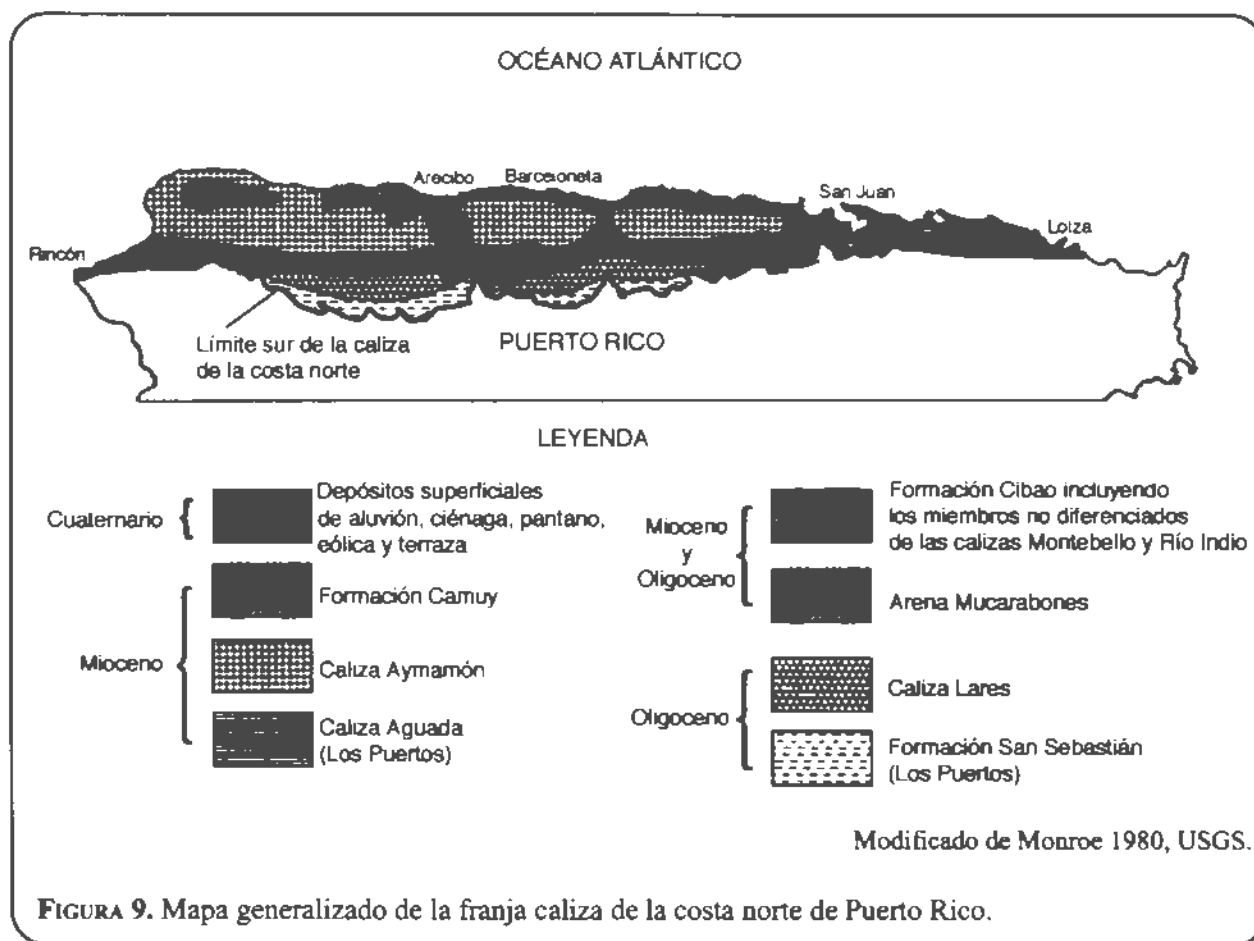
plataformas carbonatadas y de formaciones clásticas menores que varían en edad en el periodo Terciario, desde el Oligoceno medio hasta el Mioceno y comienzos del Plioceno, y constituyen la secuencia de las edades de las rocas de la franja de la zona cárstica del norte de Puerto Rico. La secuencia de estas plataformas del Terciario medio es el producto de varias regresiones, tanto pequeñas como grandes, y transgresiones del mar en la costa norte de Puerto Rico que ocurrieron durante el Oligoceno y el Mioceno (Rodríguez Martínez 1995). En orden de la más antigua a la más reciente (y de sur a norte): Formación San Sebastián, Caliza Lares, Formación Cibao (con los miembros de la Caliza Montebello, Caliza Quebrada Arenas, Caliza del Río Indio y una unidad de esquisto de barro), Arena Mucarabones, Caliza Aguada (también conocida como Los Puertos), Caliza Aymamón y la Formación Camuy (Monroe 1976, 1980) (Fig. 9).

En cuanto al contenido de estas rocas carbonatadas, según la nomenclatura estratigráfica de Monroe (1976), todas son casi pura caliza, con excepción de la Formación San Sebastián, la más antigua, que es mayormente arcilla y arena, y la Formación Cibao que tiene varios miembros y una mezcla de marga, creta, arena y arcilla con caliza (Monroe 1976, Giusti 1978) (Tabla 2).

En el aspecto geomorfológico, en la Caliza Lares es donde más se desarrollan las cavidades subterráneas de gran tamaño (cuevas y sistemas cavernarios). El relieve de la Caliza Lares se relaciona con escarpas o acantilados, macizos de elevaciones de karst cónico, zanjones (grupo de canales o trincheras paralelas como resultado de la disolución a lo largo de las grietas de la roca caliza) y grandes cuevas. En la Formación Cibao, que tiene los miembros Caliza Montebello, Caliza Río Indio y Caliza Quebrada Arenas, el relieve se caracteriza

TABLA 2. Nomenclatura estratigráfica del periodo Terciario medio de la franja cárstica del norte de Puerto Rico Modificado de Monroe 1976, 1980 y Acevedo González, 1997.

Era	Periodo	Época	Unidad y descripción
Cenozoica	Terciario	Mioceno tardío, medio temprano	<i>Formación Camuy:</i> Arenisca calcárea, piedra caliza y creta arenosa y ferruginosa. Las formas del relieve se caracterizan por escarpas, mogotes y furnias. Discordancia (falta de continuidad en los estratos). <i>Caliza Aymamón:</i> Creta muy pura sin arcilla o arena, endurecida en la superficie y convertida en caliza dura; levemente ferruginosa en la parte elevada, en el noroeste de Puerto Rico. Las formas del relieve se caracterizan por mogotes aislados y conjuntos de mogotes (karst de conos y torres), furnias y cuevas cortas. <i>Caliza Aguada:</i> Caliza fosilífera estratificada dura y disminuyendo la dureza hasta estado de creta; terrígena y arenosa localmente. Las formas del relieve se caracterizan por escarpas, dolinas, karst cónico, cuevas cortas, arcos naturales y poljes pequeños.
		Oligoceno tardío	<i>Formación Cibao:</i> Se caracteriza por escarpas y cretas, karst cónico acantilado, dolinas y valles ciegos. • Miembro superior: Creta y caliza blanda. • Miembro Guajataca (sólo en el área oeste): Arcilla Calcárea fosilífera y caliza con lentes de arena y grava tanto como 15 metros de grosor. • Miembro Arena Miranda (sólo en el área este): Arena y grava, arena y arcilla arenosa. • Miembro Calizo Montebello (sólo en el área central): Calcarenita pura y desmenuzable, endurecida por la exposición a la interperie hasta llegar a ser piedra caliza que resiste la erosión. • Miembro Calizo Quebrada Arenas (sólo en el área este): Piedra caliza de estratificación cristalina fina. • Miembro Calizo Río Indio (sólo en el área este): Caliza de lecho débil, compacta, cretácea, de color anaranjado amarillento. • Creta típica o marga (en el área este y oeste): Creta arenosa, arcillosa y limosa, arena y grava.
		Oligoceno medio	<i>Caliza Lares:</i> Caliza bastante pura en lecho fino a duro, la parte más baja contiene, de forma local, granos de cuarzo y arena limonita. Entrelaza hacia el oeste con arena y grava, cartografiada con la Formación San Sebastián. Su topografía se caracteriza por escarpas, macizos de elevaciones de karst cónico y de torres, zanjones y grandes sistemas cavernarios. <i>Formación San Sebastián:</i> Arena y arcilla mayormente de lecho fino, alguna caliza arenosa localmente, sobre todo en el oeste, arena y grava (gravilla). Discordancia (angular).



por escarpas y crestas, karst cónico, acantilados, sumideros (o dolinas) y valles ciegos. Los valles ciegos son aquellos que terminan abruptamente en un punto donde el río o los flujos de agua superficial se sumergen o sumergían y pasan a ser subterráneos (Lowe y Waltham 1995). La Caliza Aguada se caracteriza por escarpas, karst de dolinas, karst cónico, cuevas cortas, arcos naturales y poljes pequeños. La Caliza Aymamón se caracteriza por mogotes aislados y conjuntos de mogotes (karst de conos y torres), furnias (pozo natural o cueva vertical, en inglés *shaft*) y cuevas poco extensas. La Formación Camuy en su relieve tiene escarpas, “gorras” en mogotes desarrollados en la Caliza Aymamón y furnias (Monroe 1976, 1980, Acevedo González 1997). Las rocas subyacentes de estas formaciones calcáreas son volcánicas del Cretáceo tardío y el Terciario temprano (Rodríguez Martínez 1995) (Tabla 2).

Hidrología

La habilidad de las rocas de transmitir agua y, a la misma vez, de retenerla, constituye una de las propiedades hidrogeológicas más importantes. En las zonas cársticas esto se manifiesta en el desarrollo de una permeabilidad o conductividad hidráulica relativamente alta y, como consecuencia, una transmisividad altísima que promueve un drenaje subterráneo eficiente (S. Torres com. pers.).

La permeabilidad es la medida de la relativa facilidad con la cual un medio poroso puede transmitir un líquido. La permeabilidad de las rocas se debe a las aperturas primarias formadas naturalmente en la roca y a las aperturas secundarias, como fracturas, que se desarrollan luego que la roca fue formada. El tamaño de estas aperturas naturales, la interconexión entre ellas y la cantidad de las mismas son importantes para determinar la

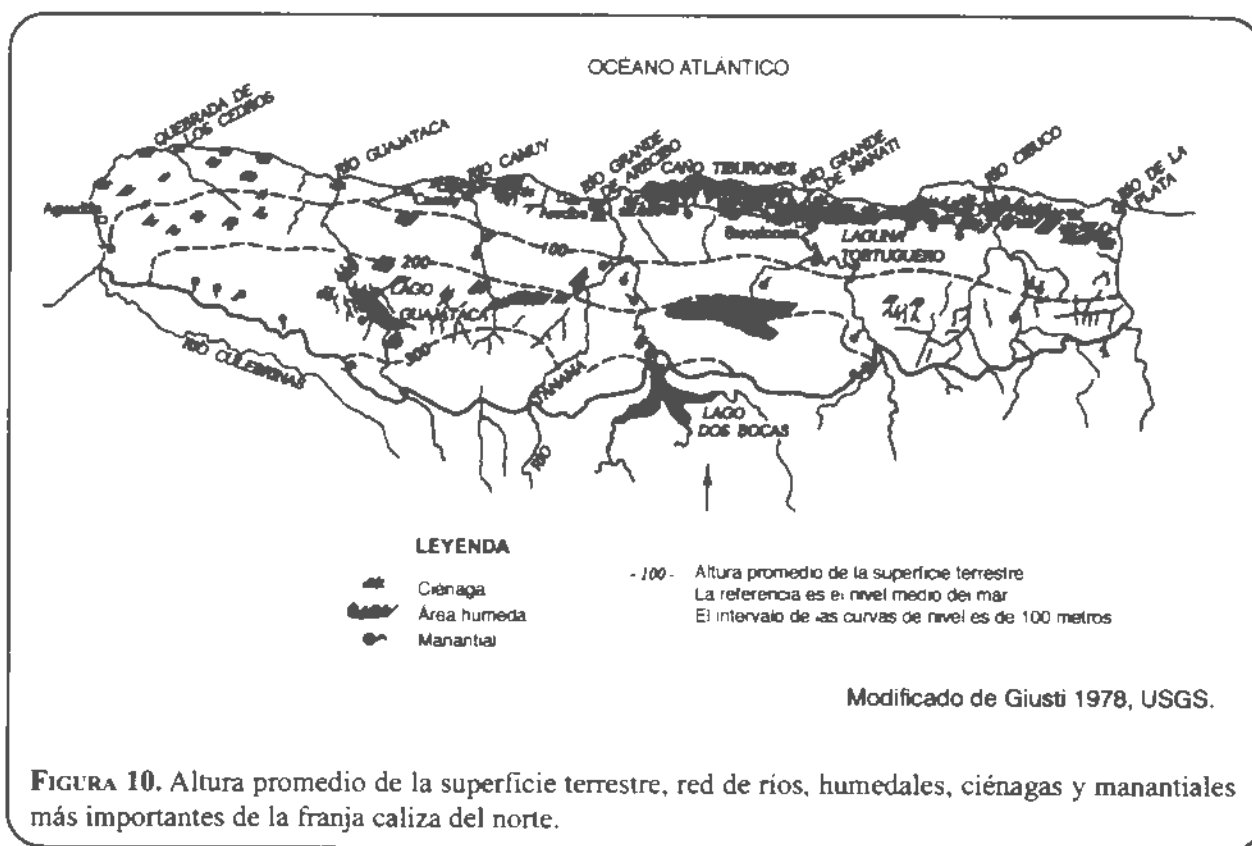
permeabilidad de las rocas. El aumento en permeabilidad depende, inicialmente, en la cantidad y el tamaño de las aperturas. Cuando el agua ácida se mueve a través de estas aperturas, los minerales se disuelven agrandándolas y aumentando la permeabilidad. En este caso, las rocas carbonatadas, como la calcita y la dolomita, son las más permeables. La transmisividad se refiere a la proporción relacionada con el caudal y las características de los conductos por la cual el agua es transmitida a través del acuífero. Mientras más grande los conductos, hay menos resistencia al flujo de agua y mayor es la transmisividad. La conductividad hidráulica es un coeficiente de proporción que describe la velocidad a la cual el flujo de agua se puede mover a través de un medio permeable en la zona no saturada (Fetter 1994 y Custodio 1983).

Puerto Rico recibe un promedio anual de 1,829 mm (72 pulgadas) de lluvia al año. De estas, 1,168 mm (46 pulgadas) se pierden por evapotranspiración, 584 mm (23 pulgadas) se traducen en escorrentía en la superficie, 25.4 mm

(1 pulgada) se guarda en los lagos y reservas, otros 25.4 mm es descargada a las aguas subterráneas de los acuíferos de la costa norte, a los estuarios, humedales y al mar, y otros 25.4 mm se extraen para el consumo público directamente de los acuíferos de la costa (datos del USGS y S. Torres com. pers.)

En la franja cársica de la costa norte de Puerto Rico el promedio de precipitación es entre 1,550 mm (61 pulgadas) en la costa a 2,300 mm (91 pulgadas) en las partes más altas, al sur, ó 1,800 mm (71 pulgadas) como promedio general (Giusti 1978). Por otro lado, el promedio de evaporación es de 1,524 mm (60 pulgadas), medido en un tanque de evaporación clase A. Esto resulta en un potencial promedio de evapotranspiración de 1,143 mm (45 pulgadas) (Giusti y Bennett 1976, Custodio 1983 y S. Torres com. pers.).

La importancia del aspecto hidrológico del norte cárstico de Puerto Rico se puede apreciar en el mapa de la Fig. 10. En este mapa, no sólo aparecen 6 de los 8 ríos principales que cruzan el karts en dirección norte, sino que también se pueden apreciar lagunas



(como la Reserva Natural de la Laguna Tortuguero), humedales, pantanos y, sobre todo, los manantiales principales. El humedal herbáceo más grande de Puerto Rico es el Caño Tiburones y se encuentra en la costa norte entre el Río Grande de Arecibo y el Río Grande de Manatí. El mismo se alimenta de los afloramientos de los acuíferos. En el 1998, cerca de la mitad del área que comprende este ecosistema de 1,310 ha fue declarado reserva natural del Estado Libre Asociado de Puerto Rico por su gran valor ecológico.

En términos generales, un problema serio que amenaza los acuíferos de los valles aluviales de la costa norte es la amplia intrusión de agua salada por la sobre explotación y mal uso del recurso. En el acuífero de la Caliza Aymamón existe un lente de agua dulce sobre agua salada. La intrusión de agua salada es un gran problema ya que este acuífero es un recurso importante de agua para la industria y la población en general de los municipios de Arecibo, Barceloneta, Manatí, Vega Alta, Vega Baja, Toa Alta y Dorado. El acuífero de la Caliza Aguada tiene características similares a la de Aymamón y es también un recurso de agua importante. El acuífero de la Formación Cibao no tiene tan buen rendimiento como los de las calizas Aymamón y Aguada pero, aún así, suple a industrias de Barceloneta y Manatí. El acuífero de la Caliza Lares tiene un rendimiento bastante pobre (Quiñones Marqués *et al.* 1985) (Tabla 3).

Unidades Hidrogeológicas

El acuífero del norte cárstico está dentro de la secuencia geológica de rocas carbonatadas que se fueron depositando y tomando forma en Puerto Rico entre el Mioceno y el Oligoceno, desde el centro volcánico de la Cordillera Central hasta 5 km mar afuera, hacia el norte, hasta lo que conocemos como La Trinchera de Puerto Rico en el Océano Atlántico. Según estudios hechos por Giusti (1978) y luego por el USGS y el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales entre 1983 y 1996, en el karst del norte de Puerto Rico hay tres unidades hidrogeológicas basadas en el ciclo hidrológico subterráneo. Estas tres unidades hidrogeológicas son el acuífero superior, una unidad confinante, y el acuífero inferior (Fig. 11a, b). Una zona artesiana

también ha sido identificada en algunos lugares de la unidad confinante. Alrededor de 249 millones de litros diarios (66 Mgal/d) fueron extraídos del acuífero superior e inferior solamente entre el 1980 y 1985 (Quiñones Marqués *et al.* 1985 y Miller *et al.* 1997) para uso público, agrícola y doméstico, lo cual demuestra la importancia de este abasto de agua. En el 1990 esta cantidad bajó 53 millones de litros diarios (14 Mgal/d), a 197 millones de litros diarios (52 Mgal/d) (Molina Rivera 1997). Esto se debe a varias razones: (1) el cierre de pozos artesianos por el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales para uso solamente en emergencias y para proteger el recurso, (2) el cierre de muchos pozos por la sobre explotación y la intrusión marina, (3) el aumento en sólidos disueltos por la misma intrusión marina que limita su uso, y (4) la contaminación por nitrato debido a la ausencia de sistemas sanitarios. Todo esto ha hecho que disminuya la extracción para el consumo de los acuíferos (S. Torres com. pers.). Estas unidades hidrogeológicas del karst norteño se describen a continuación, de acuerdo a Rodríguez Martínez (1995) y Miller *et al.* (1997):

Acuífero Superior - Consiste, principalmente, de la Caliza Aymamón y de la capa inferior de la Caliza Aguada. De 30 a 91 m (100 a 300 pies) de la capa superior de la Caliza Aymamón es una caliza densa, recristalizada, con grandes extensiones de porosidad cavernaria. La disolución de fósiles de aragonita y dolomita en esta capa es de hasta 10 a 15 por ciento. La disolución puede ser de hasta 25 por ciento donde los procesos cársticos han incrementado la permeabilidad.

En algunas áreas, el acuífero superior incluye las capas permeables suprayacentes del miembro superior de la Formación Cibao y una cubierta superior permeable de depósitos aluviales. Este acuífero superior está presente a través de casi toda la costa norte de Puerto Rico, desde Aguadilla al oeste hasta cerca de San Juan. Esta zona contiene agua en condiciones no confinadas, excepto en algunas áreas costeras donde, de forma local, se encuentra confinado por capas superiores de depósitos arcillosos y cieno. El acuífero superior también tiene una zona subyacente de agua salada en muchas de las áreas costeras del norte. Los valles

TABLA 3. Acuíferos del norte cárstico y características de los pozos. Mgal/d = millones de galones por día; ML/d = millones de litros por día; gal/min = galones por minutos; L/min = litros por minuto. Modificado de Quiñones Marquéz, Gómez Gómez y Zack 1985, basado en estudios de Gómez Gómez y Heisel 1980; Gómez Gómez, Dacosta y Orona 1993; Ward y Truxes 1964.

Acuífero y formación geológica correspondiente del área cárstica del norte		Extracción del acuífero en 1980 (Mgal/d) (ML/d)	Características del pozo				Comentarios
			Profundidad (pies) (m)		Rendimiento (gal/min) (L/min)		
			Alcance común	Podría exceder	Alcance común	Podría exceder	
Acuífero Superior	Aymamón	25 95	150-250 46-76	300 91	250-500 946-1,893	800 3,028	El agua subterránea existe como un lente de agua dulce sobre agua salada. La proximidad e intrusión de agua salada es un gran problema. Es un recurso de agua importante para los municipios de la zona.
	Aguada	25 95	100-200 30-60	250 76	109-250 378-946	500 1,893	
Acuífero Inferior	Cibao	10 38	100-300 30-91	2,000 610	50-100 189-378	200 757	Zona artesiana que suple agua mayormente a industrias en Barceloneta y Manatí. Pozos cerca de la costa penetran 1,000 hasta 2,000 pies (305 a 610 m).
	Lares	6 23	300-400 91-122	400 122	0-50 0-189	50 189	En el área de afloramiento tiene un rendimiento bien pobre. Los pozos tienen que penetrar más de 300 pies (91 m) para alcanzar el nivel freático. Cerca de la costa pocos pozos utilizan exclusivamente este acuífero.

TABLA 3. Acuíferos del norte cárstico y características de los pozos. Mgal/d = millones de galones por día; ML/d = millones de litros por día; gal/min = galones por minutos; L/min = litros por minuto. Modificado de Quiñones Marquéz, Gómez Gómez y Zack 1985, basado en estudios de Gómez Gómez y Heisel 1980; Gómez Gómez, Dacosta y Orona 1993; Ward y Truxes 1964.

Acuífero y formación geológica correspondiente del área cárstica del norte		Extracción del acuífero en 1980 (Mgal/d) (ML/d)	Características del pozo				Comentarios
			Profundidad (pies) (m)		Rendimiento (gal/min) (L/min)		
			Alcance común	Podría exceder	Alcance común	Podría exceder	
Acuífero Superior	Ayamón	25 95	150-250 46-76	300 91	250-500 946-1,893	800 3,028	El agua subterránea existe como un lente de agua dulce sobre agua salada. La proximidad e intrusión de agua salada es un gran problema. Es un recurso de agua importante para los municipios de la zona.
	Aguada	25 95	100-200 30-60	250 76	109-250 378-946	500 1,893	
Acuífero Inferior	Cibao	10 38	100-300 30-91	2,000 610	50-100 189-378	200 757	Zona artesiana que suple agua mayormente a industrias en Barceloneta y Manatí. Pozos cerca de la costa penetran 1,000 hasta 2,000 pies (305 a 610 m).
	Lares	6 23	300-400 91-122	400 122	0-50 0-189	50 189	

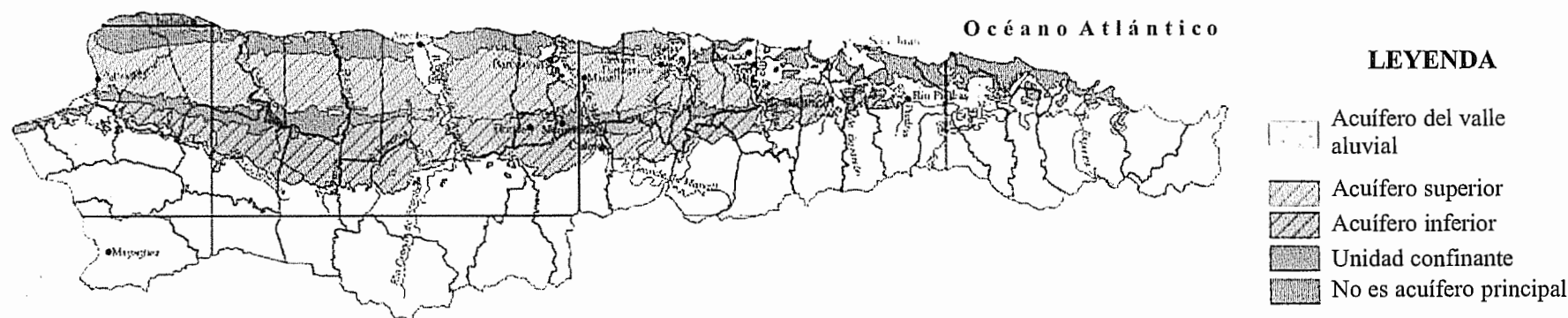


FIGURA 11a. El sistema de la caliza del norte consiste de un acuífero superior y uno inferior separados por una unidad confinante que es, mayormente, arcilla, esquisto de barro, depósitos de ciénagas y otros depósitos superficiales localmente confinados en el acuífero superior en algunas áreas costeras.

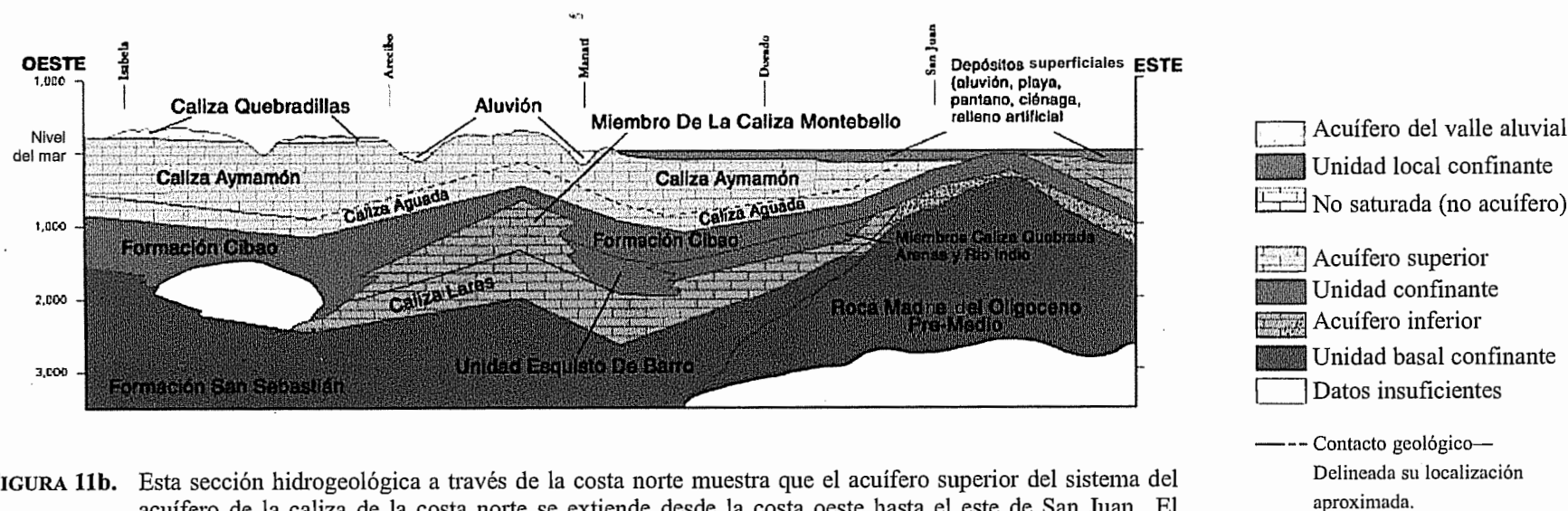


FIGURA 11b. Esta sección hidrogeológica a través de la costa norte muestra que el acuífero superior del sistema del acuífero de la caliza de la costa norte se extiende desde la costa oeste hasta el este de San Juan. El acuífero inferior está confinado y termina justo al oeste de Arecibo. Hacia el este se estrecha en la Arena Mucarabones.

Modificado de Miller, Whitehead y Olcott 1997.

de los principales ríos que se encuentran en la calizas Aymamón y Aguada contienen depósitos aluviales saturados con una pobre conexión hidráulica de los ríos y el acuífero superior, excepto en el llano costero aluvial del Río Grande de Arecibo. Los depósitos aluviales es material no consolidado derivado de la erosión de la roca volcánica y transportado a las planicies bajas por medio de los ríos, afluentes y escorrentías de lluvia (S. Torres com. pers.).

El grosor del acuífero superior varía entre 137 m. (450 pies) por el área de Arecibo y Barceloneta, a aproximadamente 328 m (1,075 pies) por el área oeste de Isabela y a aproximadamente 282 m (925 pies) cerca del este de Manatí. Al este de Vega Baja, en el área de Toa Baja, baja a aproximadamente 198 m (650 pies). El acuífero superior no se encuentra en algunas partes del área de Río Piedras. En el área metropolitana de San Juan, en las áreas que se encuentra el acuífero, éste es sumamente fino, de poco volumen, y el rendimiento de los pozos es pobre. En el área de Loíza está presente como una unidad continua y tiene un grosor de aproximadamente 229 m (750 pies). Al este de Toa Baja, las Calizas Aymamón y Aguada han sido erosionadas intensamente por la carsificación y los remanentes tienen muy poca importancia hidrológica.

La base del acuífero superior está definido, en primer lugar, por el estrato más alto de clásticos terrestres y la piedra caliza arcillosa del miembro superior de la Formación Cibao. Sin embargo, entre Isabela y Hatillo, el subyacente de este acuífero parece coincidir con la frontera inferior de la zona cárstica localizada en la Caliza Aguada que se caracteriza por una disminución significativa en porosidad y un aumento en el contenido arcilloso de la roca.

La zona de agua dulce del acuífero superior es más gruesa en el área entre el Río Grande de Arecibo y el Río Grande de Manatí, con un grosor máximo de 152 m (500 pies). La parte de agua dulce de este acuífero en las costas del área metropolitana de San Juan y Loíza no excede más de 9 m (30 pies). En el área de Guaynabo este acuífero superior es mayormente salobre.

Como se mencionó anteriormente, la zona de agua dulce del acuífero superior tiene una cuña de agua salada a lo largo de la costa que se extiende tierra adentro hasta alrededor de unos 10 km (6 millas) en el área de Barceloneta. En el área de Santurce a San Juan, la extensión es de aproximadamente 5 km (3 millas). Esto demuestra el problema de la intrusión de agua salada en los acuíferos del norte.

La unidad más permeable en el acuífero calizo de la costa norte la constituye la Caliza Aymamón. La conductividad hidráulica estimada de las calizas Aymamón y Aguada varía desde menos de 30 a más de 305 m/d (100 a más de 1,000 pies por día). Este aumento es probablemente relacionado con la profundidad máxima efectiva hasta donde ocurre la carsificación en el acuífero (Fig. 12a).

La distribución territorial de la transmisividad en la zona de agua dulce del acuífero superior es controlada, en parte, por el ambiente de sedimentación o deposición, la diagénesis (los cambios químicos y físicos que ocurren en los sedimentos antes de la consolidación o mientras está ocurriendo el ambiente de deposición) y las fracturas en las calizas Aymamón y Aguada. Estimados generales indican que la transmisividad de la zona de agua dulce del acuífero superior fluctúa entre menos de 92 a más de 9,289 m²/d (1,000 a más de 100,000 pies cuadrados por día) (Fig. 12b). La transmisividad máxima de la zona de agua dulce del acuífero superior se encuentran entre el Río Grande de Arecibo y el Río La Plata, donde el lente de agua dulce tiene mayor grosor. Este valor tan alto de transmisividad es probablemente el resultado de la permeabilidad desarrollada por planos de porosidad secundaria (que conducen a la formación de cuevas) y la intensificación de la disolución a través de los planos de estratificación, fracturas y grietas.

Unidad Confinante del Centro – La unidad confinante del centro es sumamente compleja. A pesar de que el miembro superior de la Formación Cibao es la unidad estratigráfica rocosa principal de la unidad confinante, el límite superior de esta unidad no siempre coincide con su superficie. Por ejemplo, la sección más alta de la Formación Cibao es caliza

arrecifal compacta en las áreas de Barceloneta y Arecibo. En estas áreas la parte superior del miembro superior de la Formación Cibao es considerada como parte del acuífero superior.

La extensión vertical y horizontal de la unidad

confinante es bien conocida entre Arecibo y Manatí, pero no se conoce con tanta precisión al este y oeste de esta área. Al oeste de Arecibo se sabe que la unidad confinante del centro es bien gruesa. Rocas del miembro Montebello y la Caliza Lares en áreas de la costa noroeste se convierten, gradualmente, en litología de la Formación Cibao y son consideradas parte de la unidad confinante.

La unidad confinante se vuelve más gruesa al este de Barceloneta. Entre Manatí y Vega Baja, la unidad confinante consiste del miembro de la Formación Cibao, de la capa inferior de la Caliza Quebrada Arenas y Río Indio, y una unidad de limonita o roca arcillosa. En esta área, la unidad confinante varía en grosor de 76 m (250 pies) en Barceloneta hasta, aproximadamente, 282 m (925 pies) en Manatí. Cerca de Dorado incluye los miembros Caliza del Río Indio, Quebrada Arenas y la parte superior de la Formación Cibao, y el grosor es de aproximadamente 183 m (600 pies). Cerca de Río Piedras y al este de Dorado, la unidad confinante es de aproximadamente 69 m (225 pies).

Los datos litológicos e hidrológicos indican la posibilidad de la naturaleza permeable de la unidad confinante en la parte este del acuífero de la zona cárstica del norte. La variación de conductos específicos y el nivel de agua, al igual que la variedad litológica de la unidad confinante, indican la posibilidad de un movimiento ascendente del agua del acuífero inferior al acuífero superior. Una zona que tiene agua artesiana de extensión local existe en la unidad confinante en Arecibo, en el área del cruce Dávila en Barceloneta y al sur de Manatí. Esta zona consiste de calizas con corales y su grosor es de aproximadamente 15 m (50 pies).

Acuífero Inferior - El acuífero inferior consiste, mayormente, de la Caliza Lares y el miembro Caliza Montebello de la Formación Cibao. El acuífero también tiene Arena Mucarabones (arena y grava) y algunas secciones de los miembros

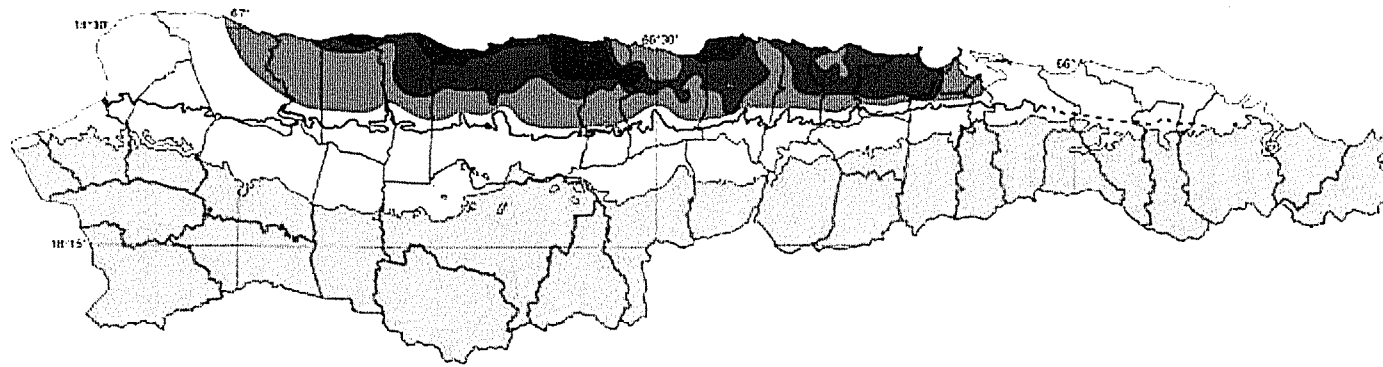
Quebrada Arena y Río Indio al este, y la Formación San Sebastián en las zonas de afloramiento.

Hacia la costa, debajo de la Formación Cibao, el acuífero inferior contiene agua artesiana (confinada) a través del área donde la unidad

confinante del centro yace suprayacente. El acuífero inferior también contiene agua en condición no confinada en las áreas por donde aflora el mismo y en las áreas de recarga cerca de la parte más al sur de la franja cárstica del norte. La porosidad y la permeabilidad del acuífero inferior varían considerablemente, como resultado de cambios verticales y laterales en los tipos de roca como resultado de la disolución de fósiles calcáreos y de la dolomitización. La fracturación parece no afectar tanto la permeabilidad en el acuífero inferior. La mayor parte de las rocas tienen una porosidad típica de 10 por ciento a un 15 por ciento, aunque se pueden encontrar de un 20 por ciento a un 25 por ciento en el miembro Caliza Montebello de la Formación Cibao y en la Caliza Lares al este de Arecibo.

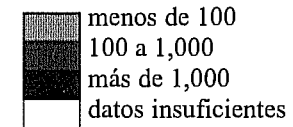
La litología del acuífero inferior es más homogénea entre Arecibo y Manatí y no hay una separación hidrológica. En esta zona el acuífero consiste de caliza con fósiles de esqueletos de organismos marinos y grano compacto que fueron depositados en una plataforma media carbonatada. La Caliza Lares, en general, es de grano mucho más fino que el miembro Montebello de la Formación Cibao. En esta zona es donde se encuentran los dos grandes sistemas cavernarios del Río Camuy y del Río Encantado que representan importantes drenajes y descargas de aguas subterráneas en áreas donde el acuífero inferior aflora. En general, la transmisividad del acuífero inferior varía desde menos de 9 hasta más de 92 m² d (100 hasta más de 1,000 pies cuadrados por día) (Fig. 12c).

Al oeste del Río Grande de Arecibo, la extensión del acuífero inferior es limitada. El carácter terrígeno de la Caliza Lares en Hatillo e Isabela y el aumento en la complejidad estratigráfica de la Formación Cibao al oeste de Arecibo, sugiere una multiplicidad de estratos confinados con agua de extensión horizontal y vertical. Se conocen zonas de permeabilidad moderada en el área más al oeste de la secuencia del Terciario medio, con pequeños



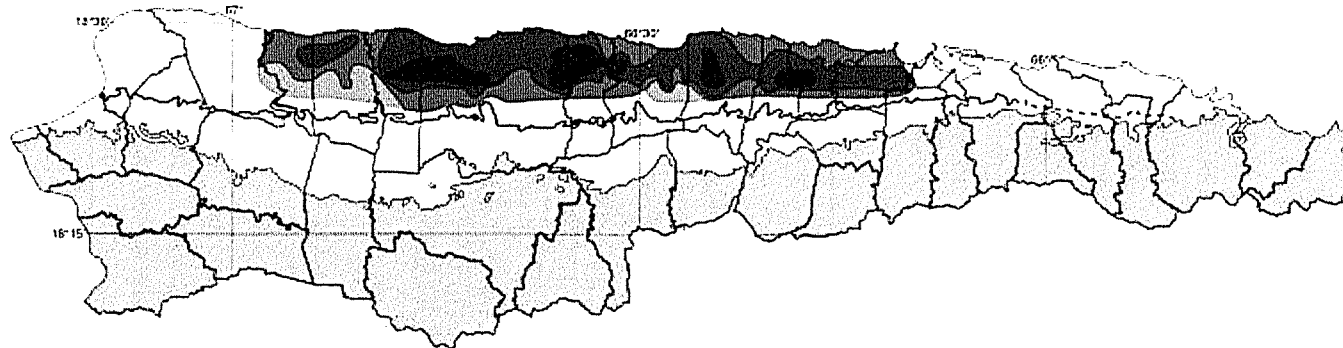
LEYENDA

Conductividad hidráulica
estimada del acuífero
superior de la caliza del
norte en pies por día.

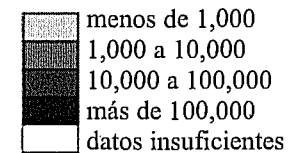


--- Límite del acuífero superior.
Delineada su localización
aproximada.

FIGURA 12a. La conductividad hidráulica del acuífero superior generalmente aumenta en dirección al mar de sur a norte.

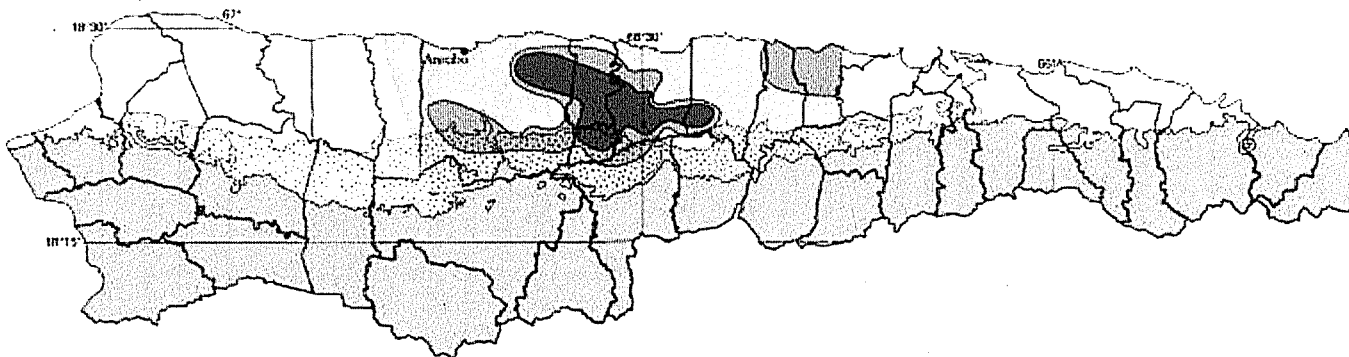


Transmisividad estimada
del acuífero superior de
la caliza del norte en pies
cuadrados por día.

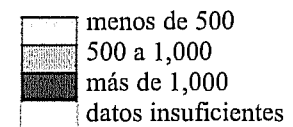


--- Límite del acuífero superior.
Delineada su

FIGURA 12b. La transmisividad estimada del acuífero superior es mayor en la parte central de la franja caliza, donde el lente de agua dulce tiene mayor espesor.



Transmisividad estimada
del acuífero inferior de la
caliza del norte en pies
cuadrados por día.



(línea punteada) Delineación de la parte no
confinada del acuífero inferior.

FIGURA 12c. La transmisividad estimada del acuífero inferior es mayor donde el Miembro Montebello aflora o se entierra en el subsuelo.

Modificado de Miller, Whitehead y Olcott 1997.

lentes de conglomerados volcánicos y de arena de la Formación San Sebastián pero, en general, esta formación no se considera un buen acuífero.

Entre Manatí y Dorado, el acuífero inferior se compone, únicamente, de la Caliza Lares. Al este de Toa Baja incluye rocas que son parte de la Arena Mucarabones. El acuífero inferior también tiene unidades permeables en la parte superior de la Formación San Sebastián, en y cerca del área donde aflora la misma.

En San Juan, Guaynabo y Río Piedras, el acuífero inferior está compuesto mayormente por la Arena Mucarabones. En San Juan y hacia el este, en algunas áreas el agua en el acuífero inferior es salobre.

Patrón de Flujo

El patrón de flujo de las áreas de drenaje de la zona cárstica del norte de Puerto Rico se puede apreciar en la Fig. 13. Esto se debe no sólo a las cuencas hidrográficas de los ríos que atraviesan esta zona, sino también a la inclinación de las plataformas hacia el norte. Según Monroe (1980), esta inclinación tiene un promedio general 3 a 4 grados,

con un promedio de 2 grados en la costa y hasta 6 a 7 grados al sur donde hace contacto con el centro volcánico o la Cordillera Central (Rodríguez Martínez 1995).

BIODIVERSIDAD DE LA FLORA DEL NORTE CÁRSTICO DE PUERTO RICO

Puerto Rico, a pesar de ser una isla pequeña, es sumamente heterogénea en geología, clima y vegetación. Dentro del área cárstica se encuentran cinco bosques públicos, estos son: Cambalache, Guajataca, Vega, Río Abajo (el más grande de éstos) y Piñones (el bosque costero de mangle más grande de Puerto Rico).

La biodiversidad de la vegetación de la Isla ha sido estudiada y descrita en enfoques conceptuales por Danserau en 1966, Holdridge (según Kumme y Bricoe en 1963 y Ewel y Whitmore en 1973) y, más recientemente, por Figueroa (J. Figueroa com. pers.). Dejándonos llevar por los resultados de las investigaciones más recientes de Figueroa para el manejo de nuestros bosques, la zona cárstica de Puerto Rico alberga la mayor biodiversidad de vegetación en toda la Isla.

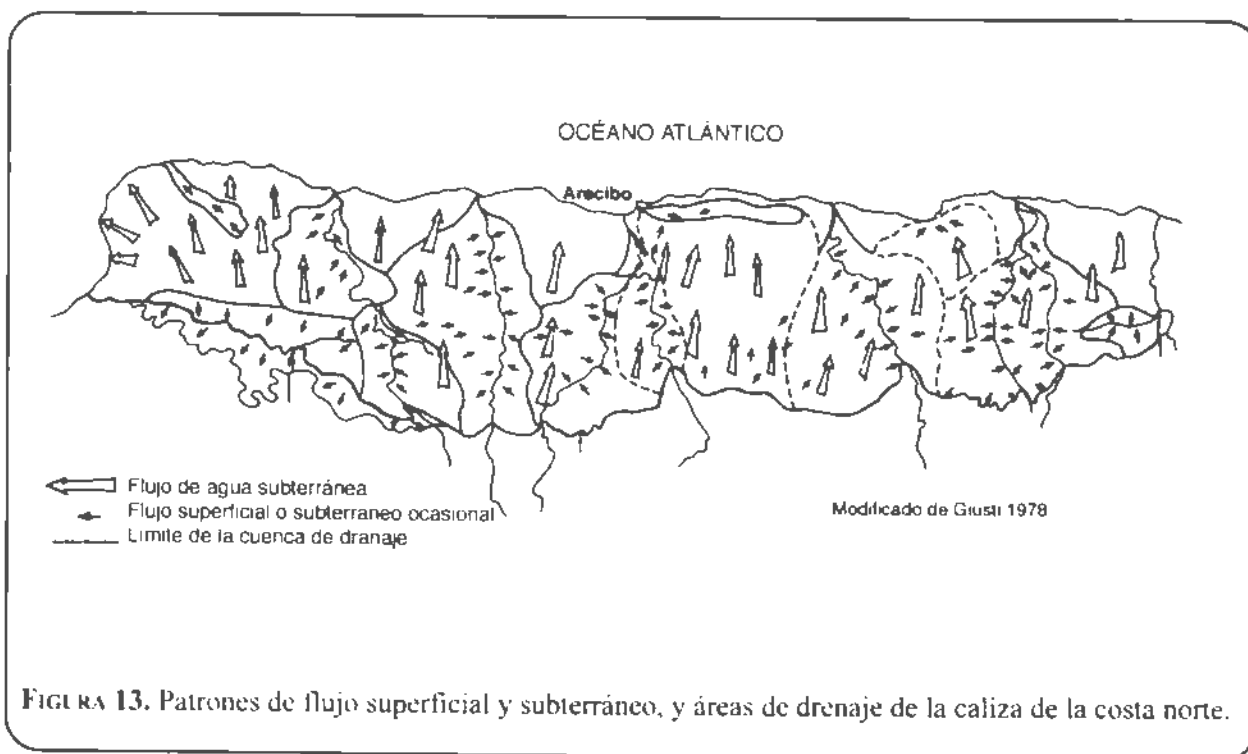


FIGURA 13. Patrones de flujo superficial y subterráneo, y áreas de drenaje de la caliza de la costa norte.

Figueroa utilizó como base para sus estudios el sustrato geológico de Puerto Rico, según el Servicio Geológico de los Estados Unidos, y el Sistema de Zonas de Vida de Holdridge (Ewel y Whitmore 1973). Según Figueroa, considerando el material geológico parental únicamente, sus estudios demostraron que la zona del karst de Puerto Rico tiene la mayor cantidad de especies de árboles nativos (un 66 por ciento del total). Luego, utilizando cuatro zonas de vida principales de las seis identificadas en el Sistema de Zonas de Vida de Holdridge, encontró la mayor cantidad de especies en el bosque subtropical muy húmedo (65 por ciento del total), siguiéndole de cerca el bosque subtropical húmedo (con un 52 por ciento) donde se encuentra la región calcárea (cárstica) del norte. Entre estos dos tipos de bosques hay una gran similitud. De hecho, según Figueroa, ambos comparten cerca del 2/3 de las especies. Finalmente, en su clasificación de las Regiones Geoclimáticas, donde considera los aspectos climáticos y edáficos, Figueroa encontró que la mayor biodiversidad de árboles nativos se encuentra en la región calcárea húmeda, casi la mitad del total (49 por ciento). Además, tres de las primeras cinco regiones con mayor biodiversidad fueron de suelo calcáreo (calcáreo húmedo, calcáreo muy húmedo y calcáreo seco).

No sólo existe una mayor biodiversidad de vegetación en la zona cárstica del norte, sino que dentro de la misma zona existe, en términos micro-ambientales, una interesante variedad de aspectos climáticos y edáficos que hacen que haya aún más variedad en la distribución de la vegetación. Chinea (1980) propone cuatro tipos de vegetación forestal en los conos y torres de caliza del norte: *mesic forest* en la base del cerro y la parte más baja de la cuesta de éste, *dry woodland* en las cuestas expuestas y en el tope de los cerros *mixed woodland* (vegetación intermedia entre el *mesic forest* y el *dry woodland*), y el *cliff fringe* en la parte más alta de la pendiente de los cerros. Sin entrar en detalles descriptivos de los tipos de vegetación encontrados en cada una de estas cuatro clasificaciones de micro bosques, el estudio determinó que la humedad es el factor ambiental más importante en estas variaciones vegetativas, además del clima por la radiación solar y los eventos catastróficos ambientales a través de la historia de la Isla, como los huracanes. El efecto

de estos principales factores ambientales es modificado por varios componentes a escala geográfica y a escala local. A escala geográfica, la precipitación y el material geológico han tenido un papel primordial en el desarrollo de estas variaciones vegetativas. A escala local (de un solo cerro o mogote), las condiciones edáficas, la exposición a los factores climáticos (temperatura, viento, lluvia, evapotranspiración), y la micro-topografía de las pendientes tienen una gran influencia. Por lo tanto, cada mogote puede ser visualizado como un complejo ecosistema donde influyen una variedad de factores ambientales y edáficos.

Aspectos Legales y de Conservación

Debido a la biodiversidad y la importancia hidrogeológica de la zona cárstica del norte de Puerto Rico, sobre todo por su fisionomía espectacular y única, se aprobó la Ley 292 del 21 de agosto de 1999 conocida como la Ley para la Protección y Conservación de la Fisiografía Cárstica. La política pública que declara esta Ley resume la importancia del karst norteño de Puerto Rico "como uno de nuestros recursos naturales no renovables más preciados por la geomorfología y por los ecosistemas particulares que en ellas se desarrollan. Se caracteriza por contener, entre otros: mogotes, torres, dolinas, sumideros, zanjones, cuevas, cavernas, acuíferos, ríos subterráneos y manantiales que han desarrollado paisajes de cualidades espectaculares con un alto valor geológico, hidrológico, ecológico, histórico, recreativo y escénico. La fisiografía cárstica cumple funciones vitales para la supervivencia natural y social de la isla, tales como albergar una alta cantidad de especies de flora y fauna; almacenar enormes abastos de aguas subterráneas; poseer terrenos de excelente aptitud agrícola y guardar un enorme potencial recreativo y turístico atribuibles a sus cualidades naturales".

Puerto Rico también cuenta con la Ley Núm. 111 conocida como Ley para la Protección y Conservación de Cuevas, Cavernas o Sumideros de Puerto Rico del 12 de julio de 1985. La misma declara también como política pública "proteger y conservar las cuevas, cavernas o sumideros en Puerto Rico porque constituyen un recurso natural único por sus preciosas formaciones de materiales

naturales; su fauna adaptada al ambiente subterráneo; su valor arqueológico e histórico; por ser conductoras y recipientes para el flujo de agua subterránea; y por proporcionar un ambiente propicio para la recreación e investigación científica”.

Ambas leyes establecen una serie de prohibiciones y multas, además de incentivos para controlar actividades o desarrollos en la región cárstica que puedan afectar su integridad ecológica. El problema es que muy poco se ha hecho para implantar estas leyes y no se han desarrollado los reglamentos requeridos para el cumplimiento de las mismas. Ambas leyes están bajo la custodia del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales.

Un desarrollo reciente y sumamente importante a consecuencia del reconocimiento del valor que tiene la “provincia” del karst norteño es la propuesta de crear una mega reserva ecológica en esta zona, desde el área que abarca el municipio de Morovis hasta el municipio de Aguadilla. Esta zona es de aproximadamente 39,370 ha. de terreno. La propuesta para la mega reserva, bajo el Proyecto de Ley #4668 de la Cámara de Representantes del Congreso de Estados Unidos denominado “Ley de Conservación de Aguas y Tierras de Puerto Rico del 2000” y con una asignación de fondos de \$100 millones para comenzar a adquirir tierras, se encuentra actualmente ante la consideración del Congreso con el apoyo del Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos, el Servicio Forestal de Estados Unidos, el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico y la organización ambiental puertorriqueña Ciudadanos del Karso (L. Miranda Castro com. pers.).

CONCLUSIÓN

Ante todo lo expuesto sobre el karst de Puerto Rico, cuando hablemos de la franja cárstica del norte tenemos que considerar las siguientes características particulares que tiene esta zona:

- Hay una gran acumulación de agua subterránea, mucho más que en otros tipos de terrenos, por la porosidad de las rocas, las grietas, los conductos verticales como

sumideros, entre otras características que destacan las rocas carbonatadas y los procesos cársticos. En la franja cárstica del norte se encuentran los acuíferos más grandes e importantes de gran potencial para uso público e industrial. Este uso debe ser planificado y juicioso ya que el sobre uso y la pérdida de zonas de recarga por la impermeabilización de estos terrenos, debido a la construcción desmedida y el desparramamiento urbano, pueden causar intrusión marina, contaminación o, inclusive, la destrucción total del recurso.

- Es un sistema que está interconectado. Casi todas las aguas de la región se comunican unas con otras a través de los conductos subterráneos. Por esto la contaminación y la intrusión de agua salada, como la destrucción y relleno de sumideros, y la impermeabilización de terrenos cársticos por desarrollos urbanos desparramados, son eventos sumamente peligrosos que pueden amenazar grandes extensiones del sistema de agua subterránea.
- El terreno cárstico pierde resistencia a la presión de carga. Por los procesos activos de disolución, corrosión y erosión, el subsuelo pierde masa continuamente. La construcción de carreteras y cualquier edificación en terreno cárstico tiene que tomar en cuenta esta situación. Los estudios de suelo en este caso son sumamente importantes.
- Los procesos que ocurren en el karst son irreversibles por la continua carstificación y los cambios hidrogeológicos. Esto puede acrecentarse negativamente con las acciones irresponsables del ser humano.
- El karst es una zoná con dos ambientes o ecosistemas diferentes pero interrelacionados y sumamente importantes que se deben tomar en consideración en la planificación: el ambiente superficial y el

ambiente subterráneo (grutas, cuevas, cavernas, etc.)

- La topografía cárstica es de gran variabilidad, con mucho terreno escarpado, grandes depresiones en el suelo y cuevas de gran belleza y tamaño. Esta geomorfología única ha sido motivo de gran admiración y estudio en diferentes países del mundo que también gozan de tener este tipo de karst tropical. Por eso Puerto Rico tiene dos leyes que protegen el karst: la Ley Núm. 111 para la Protección y Conservación de Cuevas, Cavernas o Sumideros de Puerto Rico y la Ley Núm. 292 para la Protección y Conservación de la Fisiografía Cárstica de Puerto Rico. Las mismas no han sido muy efectivas ya que aún falta el desarrollo de la reglamentación para poder facilitar la implementación de las mismas.
- En Puerto Rico, es la región de mayor biodiversidad vegetativa.

BIBLIOGRAFÍA

- Briggs, R.P. y J.P. Akers. 1965. Hydrogeologic map of Puerto Rico and adjacent islands: U.S. Geological Survey Hydro. Inv. Atlas HA-197.
- Chinea, J.D. 1980. The forest vegetation of the limestone hills of northern Puerto Rico. Tesis Universidad de Cornell, Ithaca, Nueva York. 70 p.
- Custodio, E. y M.R. Llamas. 1983. Hidrología subterránea. Segunda Edición. Ediciones Omega, S.A. – Platón 26. 2,350 p.
- Ewel, J.J. y J.L. Whitmore. 1973. The ecological life zones of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. Publicación investigativa del U.S. Forest Service ITF-18. Instituto Internacional de Dasonomía Tropical, Río Piedras, P.R. 72 p.
- Fetter, C.W. 1994. Applied hydrology, third edition. Prentice-Hall, Inc., New Jersey. 691 p.
- Giusti, E.V. 1978. Hydrogeology of the karst of Puerto Rico. Publicación Profesional 1012 del U.S. Geological Survey. U.S. Government Printing Office, Washington D.C. 68 p.
- Giusti, E.V. y G.D. Bennett. 1976. Water resources of the north coast limestone area, Puerto Rico. Informe sobre investigación de los recursos de agua 42-45 del U.S. Geological Survey. U.S. Department of the Interior, Guaynabo, P.R. 42 p.
- Kambesis, P. 1996. 1996 expedition to the sistema del Río Encantado. NSS News 54 (9):238-241.
- Kumme, K.W.O. y C.B. Briscoe. 1963. Forest formations of Puerto Rico. The Caribbean Forester 24 (2):57-66.
- Lowe, D. y T. Waltham. 1995. A dictionary of karst and caves. Cave Studies Series Number 6. British Cave Research Association. 40 p.
- Miller, J.A., R.L. Whitehead, y P.G. Olcott. 1997. Ground water atlas of the United States, Segment 13 – Alaska, Hawaii, Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. Atlas de Investigaciones Hidrológicas 730-N del U.S. Geological Survey. U.S. Department of the Interior, Virginia. 36 p.
- Molina Rivera, W. 1997. Ground-water use from the principal aquifers in Puerto Rico during calendar year 1990. Fact Sheet FS-188-96 del U.S. Geological Survey. U.S. Department of the Interior, Guaynabo, P.R.
- Monroe, W.H. 1976. The karst landforms of Puerto Rico. Publicación Profesional 899 del U.S. Geological Survey. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 69 p.
- Monroe, W.H. 1980. Some tropical landforms of Puerto Rico. Publicación Profesional 1159 del U.S. Geological Survey. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 39 p.
- Núñez Jiménez, A., N. Viña Bayes, M. Acevedo González, J. Mateo Rodríguez, M. Inurralde Vincent, y A. Graña González. 1984. Cuevas y carsos. Editorial Militar, La Habana, Cuba. 431 p.
- Quiñones Marquéz, F., F. Gómez Gómez, y A. Zack. 1985. National water summary – ground-water resources. Puerto Rico ground-water resources. Publicación sobre el suministro de agua 2275 del U.S. Geological Service. San Juan, Puerto Rico. 372 p.
- Sociedad Espeleológica del Área de Richmond. 1993. Project underground. Project Underground, Inc., Richmond, Virginia. 120 p.
- Rodríguez Martínez, J. 1995. Hydrogeology of the north coast limestone aquifer system of Puerto Rico. Informe sobre investigación de los recursos de agua 94-4249 del U.S. Geological Survey en cooperación con el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, San Juan, Puerto Rico. 22 p.
- White, W.B. 1988. Geomorphology and hidrology of karst terrains. Oxford University Press, Nueva York. 464 p.

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a las siguientes personas que me otorgaron de su tiempo para entrevistarlas y aclarar dudas: (1) Leopoldo Miranda Castro, biólogo de la oficina del Caribe del Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos, (2) Sigfredo Torres, hidrólogo del USGS, (3) Julio C. Figueroa, ecólogo, (4) Oscar Fontán, geólogo y consultor privado, (5) y Norman Veve, espeleólogo.

También, para este estudio, se utilizó el material educativo entregado por Julio C. Figueroa durante el curso Formaciones Tropicales sobre las regiones geoclimáticas de Puerto Rico, y el material educativo entregado por el Dr. Manuel Acevedo González, geógrafo y geólogo, durante el curso de educación continua que ofreció sobre el karst de Puerto Rico. Ambos cursos se llevaron a cabo en la Universidad Metropolitana en el 1997.

APÉNDICE 1 CLASIFICACIÓN DE LA FISIONOMÍA CÁRSTICA (White 1988)

1. **karst de dolina (*doline karst*)** – Es la topografía cárstica más común. Son paisajes llenos de depresiones en el suelo. A estas depresiones se les llaman sumideros. El tamaño de las dolinas y la densidad varía mucho en términos de magnitud de una región a otra. La densidad de las depresiones se determina por detalles de la geología local, particularmente por los intervalos de espacio entre fracturas y la litología de la roca del suelo, más que por parámetros regionales o climáticos. Este tipo de karst es muy común en varias regiones de Norteamérica.
2. **karst de gallera (*cockpit karst*)** – El karst de gallera se caracteriza por ser depresiones en el suelo mucho más grandes que las dolinas y por mantener una forma circular uniforme o en forma de estrella. Los puntos iniciales de desarrollo están más dispersos que el de las dolinas. La curvatura de las pendientes entre las depresiones y los puntos altos entre estas depresiones son menos abruptas que en el karst de conos y torres que se explicará más adelante.

La disolución es más extensa y el transporte subterráneo de agua produce depresiones más anchas y pendientes más cóncavas. En este tipo de karst se puede apreciar una cadena continua de colinas tipo pirámides con gargantas intermitentes. Las depresiones en forma de estrella están localizadas en las intersecciones de las fracturas. Este tipo de karst se encuentra en los trópicos y es característico de la isla de Jamaica.

3. **karst de conos y torres (*cone and tower karst*)**

- Este es uno de los tipos de karst que se encuentra en Puerto Rico y por el más que se conoce nuestra fisiografía cárstica. Los requisitos para el desarrollo del karst de conos y torres parece ser una capa gruesa de caliza y un sistema de fracturas bien desarrollado. La disolución en estas fracturas separa la caliza en las tierras más altas en bloques masivos. Los corredores de solución que separan los bloques se profundizan y se ensanchan con la disolución a través de los años. Los toques de estos promontorios calizos son generalmente redondos. La disolución de estas fracturas finaliza, eventualmente, por cambios en la litología, el nivel de base o por la acumulación de material clástico residual. Los canales o trincheras entonces se ensanchan y se transforman en planicies o valles aluviales, separando y aislando aún más los conos y las torres. Este tipo de karst, al igual que el de gallera, se encuentran en las regiones tropicales. La disolución profunda en las fracturas produce canales o trincheras y pendientes convexas en las colinas residuales. Sin embargo, según Monroe (1976), la disposición y morfología del karst del norte de Puerto Rico parece corresponder en estudios a otro patrón y a diferentes factores genéticos de un antiguo sistema de drenaje fluvial.

En el karst de conos y torres, la disolución es más uniforme que en el karst de gallera, o está distribuida más uniformemente a través de las fracturas que forman una cadena continua de depresiones en formas de trincheras con macizos de roca intermedios. En un sentido geométrico, el karst de gallera es como si fuera la topografía inversa del karst de conos y torres. Gradaciones entre estos tipos de paisajes son muy comunes.

Este tipo de karst de conos y torres también se encuentran en Cuba, América Central y en el Pacífico Sur. En América Central es común en Méjico y Belize. También ocurre en el sur de China, en Malasia, Java, Nueva Guinea, Borneo y Sarawak. En Puerto Rico, el área caliza del norte tiene unas torres bien empinadas y colinas cónicas. En algunos lugares de las tierras más altas de esta región en Puerto Rico, estos conos y torres están bien arrimados unos a otros con desfiladeros abruptos entre ellos (Río Abajo en Utuado, por ejemplo). En las tierras más bajas se puede apreciar las colinas cónicas aisladas, a las cuales se les llaman comúnmente mogotes, que se levantan en valles aluviales (Barceloneta y Vega Baja, por ejemplo).

4. **karst fluvial (*fluviokarst*)** – En regiones donde el grosor de la caliza es menor, ambas, las rocas solubles e insolubles afloran en la misma cuenca hidrográfica. El karst fluvial es un paisaje que se caracteriza por un drenaje desordenado, valles ciegos, depresiones con sumideros que tragan el agua de la superficie, grandes manantiales, depresiones cerradas y cuevas. En muchas de las áreas cársticas fluviales los ríos son caudalosos y mantienen su curso en la superficie alimentados por tributarios subterráneos. Este tipo de karst fluvial es común en el este de los Estados Unidos.
5. **karst pavimentado (*pavement karst*)** – El karst pavimentado corresponde a áreas de piedra caliza al descubierto (desnuda), esculpida en lapiés o dientes de perro de varios tipos. La disolución a lo largo de las fracturas o grietas de las rocas entrelaza la superficie del lecho de roca con una cadena de canales de disolución o cavidades longitudinales (“*kluftkarren*”). El karst pavimentado ocurre en las regiones del norte donde la glaciación continental de Pleistoceno despojó el suelo y lo dejó al desnudo con las rocas carbonatadas expuestas al ataque de la disolución de los agentes activos del ambiente. Una vez la disolución abrió las grietas para permitir el drenaje subterráneo, y el suelo quedó desnudo, es extremadamente difícil reestablecer la cobertura del mismo. Las tormentas de lluvia fluyen y barren con violencia el suelo que se ha acumulado por razones climatológicas, y lo llevan rápidamente hacia

el subsuelo y la roca desnuda pavimentada es conservada. El resultado es una planicie de roca estéril y árida, con ninguna cubierta vegetativa. A esto se añade las temperaturas severas de las latitudes altas, las laderas sumamente empinadas o escarpadas y las cubiertas gruesas de nieve por largos periodos de tiempo. La roca expuesta a la intemperie está continuamente expuesta a la disolución, resultando en el desarrollo de muchas formas de lapiés o dientes de perro. Muchas áreas cársticas en los *Rocky Mountains* en Estados Unidos y en Canadá contienen karst pavimentado. Además de ser típico en las latitudes altas, se puede observar en los climas áridos y semiáridos de los trópicos. En el sur de Puerto Rico uno puede ver ciertas manifestaciones de este karst en lugares como el Bosque de Guánica, Punta Guaniquilla y Cerro las Cuevas en Juana Díaz. Incluso, se puede observar en lugares en el interior de la Isla donde la erosión acelerada por causa del ser humano ha despojado la roca de su cubierta de suelo. El ser humano puede llevar a destruir el suelo vegetativo de zonas calcáreas a través del sobre pastoreo, convirtiendo el área en un karst pavimentado.

6. **karst de poljes (*polje karst*)** – Los poljes son depresiones cerradas bien extensas que se encuentran cerca una de las otras y que cubren grandes extensiones de terreno. Estas formaciones también requieren mucho grosor de la roca carbonatada. Es bastante común en muchas áreas cársticas del mundo, pero la más importante y de mayor extensión es la de Yugoslavia donde se aprecia un paisaje completamente construido por poljes y alternado con cadenas montañosas.
7. **karst de laberinto (*labyrinth karst*)** – Es un paisaje cárstico donde predomina redes de corredores de disolución que se interceptan y cañones de disolución. El más conocido se encuentra en el oeste de Australia.
8. **karst de cuevas (*cave karst*)** – En este tipo de karst la piedra caliza u otras rocas solubles afloran a la superficie terrestre y hay cuevas y drenajes subterráneos bien desarrollados pero con muy poca expresión en la superficie. Los mejores ejemplos de este tipo de karst se ven en las regiones áridas como en el suroeste de los

Estados Unidos en el estado de Nuevo México. Las expresiones cársticas de la superficie son bien suaves. Algunas rocas de la superficie están esculpidas con formaciones secundarias como el lapíes o diente de perro.

Según White (1988), también se puede clasificar el fenómeno del karst en términos de la cobertura de suelo y su relación al tipo de paisaje. Este tipo de clasificación es entonces modificado por la litología de la roca, el clima, la estructura geológica, la fisiografía y las modificaciones durante y después de la carsificación. Bajo esta clasificación hay dos tipos de categorías generales: el karst cubierto (*covered karst*) que implica que el lecho rocoso está cubierto por algún tipo de suelo o sedimento, y el karst desnudo (*naked karst*) que no ha desarrollado o mantenido ningún tipo de cobertura de suelo y la superficie de la roca está a la intemperie.

TIPOS DE KARST EN CUBA APLICABLES A ZONAS TROPICALES (Núñez Jiménez *et al.* 1984)

*Nota: En Cuba la palabra karst se ha oficializado como carso (cársico, carsificación). En Puerto Rico se ha utilizado también de esta manera.

1. **Carso de llanura** – Son amplias extensiones continuas de terrenos, generalmente poco inclinadas y de paisaje monótono.

- a. **Llanuras de carso desnudo o parcialmente desnudo** – (no tiene vegetación) – En este tipo de carso las rocas afloran sin cobertura de suelos. Coinciden con superficies jóvenes de origen marino. No hay avenamiento superficial, es terreno pedregoso, sin suelo, y el carso es superficial. Un ejemplo en Puerto Rico son las costas de Hatillo e Isabela.
- b. **Llanuras de carso con una capa delgada del suelo** – La cobertura de suelo de este carso es hasta de tres metros. Son más antiguas que las llanuras de carso desnudo. El carso debajo de este suelo ha sufrido más corrosión que el desnudo y el avenamiento superficial es muy poco.
- c. **Llanuras de carso litoral y de las terrazas marinas** – Se trata de una variante del carso desnudo. Son fajas paralelas a la costa

donde la abrasión marina juega un papel genético. Predomina el lapíes o diente de perro y no hay avenamiento superficial (Mar Chiquita en Manatí, P.R., por ejemplo).

- d. **Llanuras formadas por depósitos potentes de suelo** – En estas llanuras los depósitos pueden tener diez metros o más. Se cubren de suelos poco permeables que frenan la carsificación. En estos terrenos el avenamiento se produce por dolinas, furnias o sumideros. Hay una gran cantidad de suelo, que generalmente es arcilloso, poco permeable y por lo tanto ocurre poca carsificación. El avenamiento se produce por cuevas directas y absorbentes, dolinas sufosivas (de succión – tipo embudo absorbente) o furnias (cueva vertical). En Puerto Rico este tipo de carso se puede apreciar en las llanuras de la costa norte, sobre todo en Toa Alta, Toa Baja, Vega Baja y Manatí, por ejemplo.
 - e. **carso de pantanos y ciénagas** – Este carso está cubierto por arcilla, margas, turbas y agua, dando origen a pantanos y ciénagas cársticas cuyo espesor de suelo varía entre dos y diez metros. Aparecen dolinas y lagos, y las rocas por debajo de las aguas se carsifican intensamente por los ácidos orgánicos del agua. Son suelos arcillosos, parcialmente permeables, el agua que cae se queda, todo se convierte en pantano o ciénaga cárstica. Un ejemplo en Puerto Rico es la zona donde se encuentra el Caño Tiburones.
2. **Carso de Altura**
- a. **mesetas cársicas** – Son elevaciones de la superficie plana con bordes abruptos o inclinados, en cuyas pendientes abundan las cuevas, dolinas y furnias. (Aguadilla y Hatillo en el noroeste, por ejemplo).
 - b. **carso cupular** – Se trata de cerros cónicos aislados, conocidos como mogotes, que se caracterizan por la intensa carsificación, caídas de bloques y por la epidigénesis (proceso mediante el cual las rocas carbonatadas cristalizan su superficie). Sus formas son abruptas y tienden a ser más anchos que altos. Los mismos son rodeados

de amplios valles aluviales. En Puerto Rico este carso se puede ver en el norte, en los municipios más cercanos a la costa. Históricamente, los valles aluviales que rodean estos mogotes en Puerto Rico han sido excelentes para la agricultura. En Barceloneta, por ejemplo, este tipo de carso se ha caracterizado por la siembra de piña.

- c. **carso cónico y de torres** - (clasificación parecida a la de White, 1988) Son cerros cársicos asociados (es decir, forman macizo o serranía, agrupaciones de mogotes), generalmente más altos que anchos, con paredes abruptas y cimas redondeadas en el caso de los conos y cimas más agudas en el caso de las torres. Por lo general, los conos y torres forman serranías. Como se explicó anteriormente, por razones de paisaje, a Puerto Rico se le conoce más bien por este tipo de carso, sobre todo en los municipios del norte - centro y noroeste de la Isla (Fig. 2).
- d. **carso tabular** - Se trata de amplios macizos de un ancho entre 5 y 20 km, cortados por valles y cañones. El carso tabular no presenta cerros aislados. En las cimas predomina el drenaje subterráneo formándose dolinas y furnias.

APÉNDICE 2 ESPELEOTEMAS

(Richmond Area Speleological Society 1993,
White 1988, Núñez Jiménez *et al.* 1984)

Los espeleotemas son formaciones secundarias subterráneas dentro de las cuevas. El nombre se deriva de las palabras griegas "spelaion" (cueva) y "thema" depósito. El proceso por el cual los espeleotemas se forman es el revés del proceso por el cual la piedra caliza es disuelta para producir las cuevas. Los espeleotemas consisten, mayormente, de calcita, el mismo mineral del cual está compuesto la piedra caliza en su forma cristalizada.

Las condiciones ambientales de una cavidad subterránea son perfectas para la formación de espeleotemas cuando el nivel freático baja y el aire entra en los pasillos subterráneos. En el suelo, donde la descomposición de las plantas y animales muertos

es parte del proceso natural, haciendo del suelo uno rico en materiales orgánicos, el contenido de CO_2 es de alrededor de 10 a 20 veces más que en la atmósfera. El CO_2 combinado con agua, cuando se percola hacia el subsuelo, produce ácido carbónico. Esta agua acidulada que disuelve la calcita de la piedra caliza, va llevando la calcita disuelta por su recorrido entre los estratos de las rocas. El agua mineralizada con calcita fluye hacia dentro de las cavidades subterráneas y algunas se evaporan cuando hacen contacto con el aire en estos "vacíos subterráneos". Un cambio físico de presión entonces ocurre y el CO_2 es liberado del agua acidulada. Mientras el CO_2 es liberado, la calcita se va depositando a través de millones de años en finas capas que va dando forma a rocas estratificadas o espeleotemas.

Los espeleotemas se forman a un ritmo variado mientras los cristales de calcita se van depositando uno sobre otro. A pesar de que toma un promedio de 120 años formar una pulgada cúbica, otros factores pueden determinar el tiempo que toma el crecimiento de estas formas. La temperatura ambiental que afecta la velocidad de descomposición de las plantas y animales (cantidad de CO_2 en el suelo) y la cantidad de precipitación, son factores importantes. Las formas de los espeleotemas son determinadas, generalmente, por cómo entra el agua a la cavidad subterránea (a través de goteo, filtración, salpicadura o escurrimiento) y cómo el agua fluye o se detiene luego que entra a la cavidad.

El color de los espeleotemas es determinado por el contenido de sus minerales. La calcita pura es casi blanca, a veces hasta translúcida. Los óxidos de hierro que puede recoger el agua a través de su recorrido por los estratos de la roca y mezclarse con la calcita, producen tonos de rojo y anaranjado en los espeleotemas. En adición, otros minerales menos comunes también pueden producir una variedad de colores en los espeleotemas.

Los espeleotemas más conocidos son las estalactitas y las estalagmitas. Las estalactitas cuelgan del techo de las cuevas y se forman del goteo de agua mineralizada que se infiltra a través de la roca carbonatada en el techo de la cueva. El depósito de la calcita ocurre alrededor de la estructura

ensanchando y alargando ésta por un largo periodo de tiempo. Las estalagmitas se levantan del piso de la cueva y, generalmente, son formadas del agua que gotea del techo de la cueva, de las estalactitas, y se van formando más y más altas mientras el agua mineralizada gotea al piso y se evapora dejando los depósitos de calcita (Fig. 5ab).

Hay una variedad bastante extensa de espeleotemas. Los más conocidos, además de las estalactitas y las estalagmitas, son las columnas, los sorbetos, las helictitas o excéntricas, la piedra colada (*flowstone*), las cortinas o tocinetas, y el coral de cueva o *popcorn* (Fig. 6).

EL ENTENDIMIENTO CONCEPTUAL Y OTROS DESAFÍOS DE LA TRANSFORMACIÓN EDUCATIVA

Ángeles Molina Iturrondo

Facultad de Educación

Universidad de Puerto Rico

Apartado 23304, San Juan, Puerto Rico 00931-3304

RESUMEN

En este artículo se discuten los fundamentos teóricos del cambio en la visión sobre el aprendizaje y los retos que plantea a la transformación educativa. Se focaliza en el entendimiento conceptual y cómo éste es diferente en distintos momentos de la vida. El artículo concluye con un análisis de los retos de la nueva visión del aprendizaje, en lo que se refiere a la creación de escenarios educativos que fomenten el entendimiento conceptual.

SUMMARY

This article discusses the theoretical foundations of the transformation of the views on learning and the challenges it poses to educational change. The focus is on conceptual understanding and how this is different in each of the developmental periods of life. The article concludes with an analysis of the challenges to create educational environments that foster conceptual understanding.

Durante los últimos cuarenta años del Siglo XX, se ha suscitado una de las revoluciones intelectuales más influyentes en la pedagogía contemporánea. El aprendizaje que afloró temprano en el siglo como un constructor psicológico atado a la conducta observable y al método científico, comenzó a examinarse con una óptica distinta. El cambio en la conducta observable ya no era el objetivo de los psicólogos y de los educadores. Había que replantearse el aprendizaje como una transformación interior, vinculada a la construcción del conocimiento y a la interacción con el contexto social.

Esta nueva noción sobre el aprendizaje reivindicó la mente y el pensamiento. Los velados procesos mentales superiores que nos convierten en seres hablantes y pensantes, ocuparon la atención de los investigadores y se convirtieron en objeto de estudio. Los más atrevidos, retando los cánones oficiales, crearon metodologías innovadoras para estudiarlos, aunque no pudieran observarlos,

medirlos, ni tocarlos directamente. El método clínico, los acercamientos naturalistas al aprendizaje actuando en el entorno inmediato —el hogar y la escuela— y la etnografía, aportaron metodologías más sensibles a subjetividad de los individuos. Estas metodologías contribuyeron a descubrir que las dimensiones socioculturales desempeñan un papel de peso en la construcción del conocimiento y en la configuración del pensamiento. También aportaron a la creación de teorías nuevas, entre las que se destacan la teoría constructivista de Jean Piaget y el enfoque sociohistórico de Lev Vygotsky. Otro de los frutos de los nuevos acercamientos al estudio de los procesos mentales, fue un manejo de metáforas poéticas para descubrir la mente y sus actos de aprendizaje, que se distanciaban del rígido modelo conductista: la mente como constructora de conocimiento, el aprendizaje en la zona imaginaria del desarrollo próximo, el andamiaje conceptual como puente para alcanzar nuevos aprendizajes. Recientemente, se ha rebasado el último tabú en el estudio del pensamiento. Las emociones se han

insertado en el panorama de lo cognitivo pues su influjo ha probado ser más contundente de lo que se pensaba (Caine y Caine 1997, García Padilla 2000, Goleman 1995).

El cambio de enfoque en la investigación cognitiva, de la conducta observable a los procesos internos de la mente, ha obligado a los maestros a repensar las nociones clásicas sobre el aprendizaje y a reconceptuar las prácticas educativas. No es casualidad que durante esos mismos últimos cuarenta años del Siglo XX, hayan surgido numerosos movimientos de reforma educativa en el mundo entero. En el centro de estos movimientos yace un interés genuino por reconceptuar el aprendizaje y redefinir su relación con la enseñanza. No obstante, encauzar los proyectos de cambio educativo por rutas productivas, ha demostrado estar plagado de desafíos previamente impensados.

El primero de los desafíos que se enfrenta es llegar a consenso sobre el aprendizaje como un conglomerado de actividades mentales completas. Si las formulas conductistas ya no sirven para explicar y alentar el aprendizaje como un cambio en la conducta observable, entonces, ¿Qué es aprendizaje y cómo se relaciona con la enseñanza? Entre los estudiosos del aprendizaje y de la cognición, parece haber acuerdo en que el aprendizaje es un acto interior de construcción de conocimiento, estrechamente vinculado a las actividades socioculturales que realiza el aprendiz en colaboración con otros seres humanos. Las actividades que ocurren en la escuela parecen ser especialmente importantes para la construcción de un tipo de conocimiento al que Vygotsky (1978) se refirió como los *conceptos científicos*. Antes de llegar a la escuela, los niños y las niñas comienzan a apropiarse de los sistemas simbólicos como los números y el lenguaje escrito; y a construir conceptos espontáneos relacionados con estos sistemas y con el mundo en general, que tienen relevancia en sus vidas. Por ejemplo, dadas las oportunidades, los pequeños demuestran poseer conceptos numéricos con significación entre uno y cinco; y tienen ideas definidas sobre la naturaleza, aunque no siempre son correctos. Estas nociones no son el producto de la instrucción escolar, sino de interacciones sociales casuales en situaciones en las

que la que la naturaleza se descubre, se observa y se convierte en tema de discusión; y la cuantificación tienen propósitos funcionales. No obstante, cuando llegan a la escuela por primera vez, los pequeños se enfrentan a los convencionalismos de los sistemas simbólicos. La educación formal los obliga a transformar los conceptos espontáneos que traen, en *conceptos científicos* (Vygotsky 1978) u oficiales, lo que a su vez altera la configuración del pensamiento. ¿Cómo lo hace? Enfrentado al aprendiz con las reglas convencionales de los sistemas simbólicos; retando sus concepciones espontáneas; mostrando otras perspectivas; alentando la apropiación de métodos nuevos para pensar; y confrontándolo con las disciplinas. Exponerse a estos mundos y realidades nuevas tiene la virtud de expandir la imaginación y el intelecto más allá de los que se ve, se oye, se gusta y se toca, convirtiéndose en una de las piedras angulares de la educación.

Los niños y las niñas se acercan a la experiencia escolar con una riqueza conceptos espontáneos, de perspectivas personales, y de historias particulares que no pueden ignorarse en el acto de educar la mente. Al educar la mente, una de las aspiraciones primordiales de la escuela tiene que ser fomentar la construcción del conocimiento formal y académico en la forma de entendimiento conceptual.

Sin embargo, hablar de entendimiento conceptual parecería ser redundante. Cualquiera podría preguntar, y con razón si es que puede existir algún entendimiento que no sea conceptual. Lo cierto es que hay distintos tipos de entendimientos: no todos son conceptuales; están vinculados con la etapa del desarrollo humano en la que se encuentra el aprendiz, y funcionan bajo la influencia del contexto. El entendimiento puede definirse como la facultad para comprender lo que nos está dado empíricamente. En distintos momentos de la vida, los individuos usamos estrategias diferentes para acometer esta tarea. Veamos un ejemplo. El entendimiento del mundo de un bebé es distinto al de un preescolar o al de un niño de edad escolar. El bebé se relaciona con el mundo a través de los sentidos y de los músculos, ejercitando un tipo de inteligencia práctica, inmediata, preconceptual y presimbólica, que no por carecer de la dimensión

simbólica, es menos significativa. Estas primeras aproximaciones al entendimiento se logran mediante el descubrimiento sensoriomotor, la interacción social y la intervención de los adultos, que como agentes mediatizadores, contribuyen a la atribución de significado precoz en el mundo infantil. Pero sobre todo, la apropiación temprana del lenguaje desempeña un papel protagónico en la primera comprensión del mundo.

Por otro lado, para el niño que hace sus primeros pinitos en el kindergarten o en el primer grado, el entendimiento es intuitivo, está matizado por la información perceptual y por el significado social que se le atribuye en el entorno. Este entendimiento, que estrena la conceptualización incipiente y la representación mental, depende fuertemente de la manipulación de lo concreto, del descubrimiento, de la pertinencia contextual de las actividades, del diálogo con los adultos y de las oportunidades para la exploración libre y asistida. Pero además, está íntimamente relacionado con la participación del niño en actividades cotidianas que tienen sentido para él. Por ejemplo, entender el concepto del número en estas tiernas edades depende del involucramiento en actividades en las cuales contar con significación es indispensable. Cuando un pequeño pide "M&M" y se le pregunta cuántos quiere, está obligado a pensar y a comunicar una cantidad. En otras circunstancias, se le ofrece el paquete de chocolates, del cual saca un puñado que deberá contar. Estas actividades sugieren que entender el concepto de número requiere de múltiples oportunidades para manipular objetos sueltos, agruparlos, formar conjuntos, juntarlos, separarlos, establecer correspondencia biunívoca y contarlos, una y otra vez con un significado social verdadero (Kamii y DeClark 1985). Paulatinamente, las actividades de manipulación y de uso social del número se van internalizando; como diría Vygotsky, el aprendiz se va apropiando de ellas. Es así que se construye una representación mental del número que se refiere a nuevas relaciones cuantitativas que se establecen mentalmente, entre objetos y sucesos del medio ambiente; y que se es capaz de aplicar en situaciones nuevas.

Esta explicación apunta a la naturaleza multifacética del entendimiento conceptual. Por un

lado, es simbólico, es representativo y es social, pero también se revela como interpretativo y constructivo. Para entender conceptualmente el número en este ejemplo se depende de la interpretación que hace el aprendiz de las actividades que realiza y esta interpretación, a su vez, está enraizada en los conocimientos y en las experiencias previas.

A partir de los años preescolares y para el resto de la vida, entender conceptualmente envuelve dos tipos de aprendizajes: el desarrollo de conceptos y la transformación conceptual (Quintero *et al.* 1995-1996). El desarrollo de conceptos se relaciona con el proceso de asimilación de Piaget. El aprendiz integra nuevos conocimientos en la estructura cognitiva, que se traducen en una diversificación conceptual y por ende, en conceptos más ricos. Por otro lado, la transformación conceptual es afín al proceso de acomodación. Como tal, envuelve la reestructuración del mapa mental, la reorganización de los conceptos y el establecimiento de nuevas relaciones entre éstos, así como la creación de conceptos nuevos, que no existían previamente en la estructura intelectual. Al correr de los años, el entendimiento conceptual se va liberando del influjo de lo concreto y de lo perceptual. Sin embargo, el involucramiento activo, la metacognición y la reflexión siempre serán indispensables para entender. La metacognición es particularmente significativa. Ésta facilita al aprendiz tomar conciencia de los procesos internos del pensamiento y del nivel alcanzado en el entendimiento conceptual sobre un asunto. El propósito es que el aprendiz pueda redirigir o modificar las estrategias de aprendizaje que lo lleven a niveles más complejos de entendimiento conceptual. Asimismo, los métodos de inquirir, particulares a las disciplinas que se descubren y se apropian en la escuela, marcan de manera definitiva el entendimiento como una actividad abstracta y compleja de la mente humana educada.

Los procesos inherentes al entendimiento conceptual no son observables. Esta invisibilidad en el entendimiento conceptual, presenta el segundo gran desafío cuando se emprenden cambios en las prácticas educativas. Los maestros tienen que inferir lo que está ocurriendo en la mente del aprendiz cuando aprende. También están obligados a ponderar

cómo se relacionan las actividades mentales, con las actividades didácticas que ocurren en la sala de clase, con las disposiciones afectivas del alumno para aprender y con los niveles del desarrollo. Para ello, se recomienda descubrir las concepciones y los procesos de pensamiento mediante el diálogo y la exploración conceptual e inferir lo que ocurre en la mente del aprendiz. Las inferencias que hace el maestro sobre lo que ocurre o deja de ocurrir en la mente del aprendiz, no surgen en el vacío. Los maestros aportan sus propios sesgos y teorías personales sobre cómo se aprende, qué es pensar y cómo se logra el entendimiento conceptual. Sin embargo, con frecuencia, no están conscientes de cómo esta amalgama de nociones intrincadas, influye directamente en las prácticas educativas e indirectamente en el aprendizaje y por ende, entendimiento estudiantil. Si a algo se debe aspirar entonces, es que los maestros y las maestras se apoderen con consciencia plena de sus nociones sobre el aprendizaje; desarrollen las actitudes necesarias para revisarlas y sean capaces de traducirlas a prácticas educativas más centradas en el aprendizaje auténtico y en el entendimiento conceptual.

El tercero de los desafíos que se enfrenta, es el más formidable. Con redefinir el aprendizaje; ponderar lo que ocurre en la mente del alumno cuando aprende, o apotestarse como docente, no es suficiente para alentar el entendimiento conceptual en los alumnos. Se requiere crear un nuevo tipo de escenario educativo, al que Berk y Winsler se han referido como la *comunidad de aprendizaje*. La comunidad de aprendizaje es un ambiente escolar libre de presiones y seguro, pero abundante en retos cognitivos (Berman 1991). Este escenario tiene varias características que lo definen: incorpora los centros de aprendizaje, programa las clases en bloques grandes de tiempo, reduce la cantidad de alumnos; depura la cantidad de contenido y lo integra, alienta la reflexión, incorpora la tutoría individual y los grupos de trabajo, fomenta el descubrimiento guiado, la intervención inteligente del maestro y la enseñanza recíproca, ofrece una gama de posibilidades para manejar los contenidos y los sistemas simbólicos creativamente y capitaliza en la diversidad estudiantil.

Cualquiera podría reprochar que lo que se plantea en este artículo es de una utopía educativa, imposible de lograr con las atrasadas condiciones que imperan en muchas escuelas. No obstante, esa es la meta de la transformación educativa: crear una utopía educativa y tratar de que la realidad llegue a semejarse al ideal que concibe la imaginación. Ese es el norte que orienta y el desafío que reta: concebir y forjar una educación posible e ideal que cultive el entendimiento conceptual verdadero y el desarrollo humano óptimo para todos por igual.

AGRADECIMIENTO

Este artículo es una versión revisada de la ponencia plenary presentada en la Convención Anual de la Asociación de Maestros de Ciencia de Puerto Rico, el día 14 de abril de 2000, en la Universidad Interamericana, Recinto de Bayamón.

LITERATURA CITADA

- Berman, S. 1991. Thinking in context: teaching for open mindedness and critical understanding. En A.L. Costa, editor. *Developing minds*. Association for Supervisor and Curriculum Development. Alexandria, VA.
- Caine, R.N. y C. Goefrey. 1997. Education at the edge of possibility. Association for Supervisor and Curriculum Development. Alexandria, VA.
- García Padilla, M.C. 2000. La preparación de maestro con sentido. Ponencia presentada en el panel. *La reformulación de la educación temprana: agenda indispensable para la educación con sentido*. 12^{mo} Encuentro de Educación y Pensamiento, Ponce Hilton, Puerto Rico.
- Goleman, D. 1995. Emotional intelligence: why can it matter more than IQ. Bantam Books. New York, NY.
- Kamii, C. y G. DeClark. 1985. Young children reinvent arithmetic. Teacher College Press. New York, NY.
- Marzano, R.J. 1992. A different kind of classroom: teaching with dimensions of learning. Association for Supervisor and Curriculum Development. Alexandria, VA.
- Quintero, A.H., R.I. Gerena, C. Malavé, W. Romero, W.E. Rivera López, y J. Sánchez. 1995-96. La investigación colaborativa en el aprendizaje de conceptos matemáticos en la niñez escolar. *Pedagogía* 30:56-67.
- Vygotsky, L.S. 1978. Mind in society: the development of higher psychological processes. Harvard University Press. Cambridge, MA.

LA EDUCACIÓN GLOBAL COMO UNA ALTERNATIVA PARA LA CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE

Jaime L. Otero Vázquez

Facultad de Estudios Generales

Universidad de Puerto Rico

Apartado 23323, San Juan, Puerto Rico 00931-3323

RESUMEN

Este estudio presenta una serie de situaciones que afectan el ambiente y la conservación de las especies. Muchas especies de plantas y animales se extinguen diariamente. Factores como la sobrepoblación, la industrialización y la deforestación como un efecto directo de los procesos de la globalización de la economía son determinantes en la modificación y destrucción de hábitats. Debido al movimiento y relocalización de corporaciones y por lo tanto de personas donde antes no existían, muchas áreas naturales están siendo afectadas. La educación global es una alternativa para afrontar estos problemas. Este tipo de educación ofrece un enfoque interdisciplinario que nos da alternativas de cambio en el contenido, métodos y contexto social en la enseñanza, aumentando el interés y la conciencia por parte de los estudiantes hacia el ambiente. Para una participación ciudadana efectiva sobre asuntos locales y globales, es necesario aprender sobre los recursos naturales para afrontar los retos de su conservación y preservación.

Frecuentemente se escucha hablar sobre conservación, preservación, el ambiente, especies en peligro de extinción o frases como "salvemos al planeta" o "el planeta está en peligro", entre otras. Esto ya forma parte de nuestro diario vivir. Además, leemos en los periódicos o vemos en la televisión anuncios comerciales auspiciados por farmacéuticos u otras corporaciones las cuales aluden a temas ambientales o de conservación. Ya todos o por lo menos la mayoría de las personas conocen aunque sea un poco sobre éstos temas. Sin embargo, no siempre se explica la importancia de preservar los recursos, no abusar de ellos o mantenerlos para las futuras generaciones.

El reconocido botánico tropical, doctor Peter Raven en la cumbre ambiental celebrada en Brasil en 1992 comenzó su ponencia haciendo la siguiente pregunta: ¿Cómo nosotros estamos manejando el ambiente a nivel global? Inmediatamente contestó con una corta pero certera contestación: no muy bien. Miles de cuerdas de bosque son deforestadas diariamente. Si este proceso continúa, aproximadamente para el año 2010 habrán desaparecido dos terceras partes de las plantas de

planeta (Josephson 2000). Además se estima que una cuarta parte de los animales se extinguirán, sólo en los países tropicales para el año 2020 (Raven 1987). Si este proceso de deforestación continúa, uno de nuestros mayores recursos naturales habrá desaparecido, la biodiversidad. Señala Raven (1987), que gran parte de estos eventos ambientales están sucediendo gracias a un fenómeno que está ocurriendo en la población humana, la globalización. Esto es, porque ha habido un movimiento y relocalización de corporaciones y gente donde antes no existían y como consecuencia muchas áreas naturales están siendo destruidas o deforestadas principalmente en los países tropicales. La destrucción de hábitats está provocando un alarmante descenso en la densidad y diversidad de especies de organismos. Lamentablemente en muchos países no se tiene el conocimiento necesario o no se entiende la importancia de la diversidad de especies y de la conservación de los ecosistemas. Educadores especialistas en el área de la conservación y el ambiente señalan cómo las personas pueden actuar y proteger los recursos naturales porque la conservación sola, es imposible (Butler 1995, Jacobson 1997). Es decir, todos

debemos participar y no dejarla solo a los científicos o a las agencias gubernamentales para ver si ellos pueden hacer algo por los recursos no renovables como la biodiversidad.

Alrededor del mundo, mucha gente ha entendido que la globalización realmente se está llevando a cabo. Experimentan los efectos en sus trabajos en la comunidad y en el ambiente. No obstante, en los pasados cinco años ha habido una resistencia a la globalización que ha ido creciendo exponencialmente (Norberg-Hodge 1999). Fundamentalmente la globalización es un fenómeno económico, efecto que se ha expandido del occidente a todas las sociedades donde llega la educación (Jones 1998, Jarvis 1999). Los distintos ecosistemas del planeta están siendo afectados en parte por el mercado capitalista, provocando un proceso de degradación ambiental a nivel global. Raven (1987), señala que regiones tropicales del tamaño de Kansas se deforestan al año para la producción de madera, la agricultura y pastos para el ganado. Lo significativo del asunto es que la mayoría de los productos que se producen son para importarlos a los países capitalistas, principalmente a los Estados Unidos. Posteriormente la mayoría de estas áreas o regiones son abandonadas y no son reforestadas.

Gobernantes de muchos países y estados están bien al tanto de la globalización, a los adelantos tecnológicos y de los beneficios económicos para sus países o ciudades. Lamentablemente no han prestado la misma atención al ambiente. Tye y Tye (1992) señalan que existen cinco sistemas globales de máxima atención que son la economía, la política, la cultura, la tecnología y el ambiente. Estos sistemas están interconectados unos con otros y por supuesto con nuestro diario vivir. Los gobernantes no han visto o no han querido ver la interdependencia existente entre todos estos procesos. Según Westing (1993) uno de los retos más formidables que tiene el humano hoy día es su coexistencia con otras especies de organismos en el planeta. Mantener la diversidad de las especies en nuestro planeta, el cual compartimos con tantas clases de organismos, es un problema de vital interés para los científicos de hoy día. Los cambios en los últimos tiempos han provocado el surgimiento de nuevos problemas ambientales, algo que en siglos o décadas pasadas

no ocurría o simplemente eran casos aislados. Al ocurrir la extinción de la forma tan acelerada como está sucediendo, se está privando a la naturaleza de su regeneración, pues se destruye en poco tiempo lo que tomó años formar, privándonos así de una riqueza sin igual. Por lo tanto, se hace necesario exponer las causas por las cuales es importante conservar la diversidad de nuestro planeta y en qué forma nos impacta a nosotros u otros organismos con los cuales compartimos nuestro preciado suelo. Conociendo este reto se requiere de una educación ambiental apropiada y de un esfuerzo por conservar el ambiente sin tener que detener el progreso. Todos los responsables del desarrollo de las políticas educativas tienen que tener conocimiento del estatus de los programas ambientales, tanto a nivel local como globales. La educación global es la alternativa para poder lidiar con este asunto. Además, uno de los asuntos globales que más se está discutiendo en nuestros tiempos es el ambiente, principalmente la bio-conservación. Gigliotti (1990) y Jacobson (1997) señalan que para una conservación efectiva se debe aumentar el conocimiento y las destrezas de los ciudadanos. Señalan que una educación efectiva es un elemento crítico para la conservación, principalmente con especies en peligro de extinción.

Perspectivas prácticas para la conservación de la vida silvestre y otros recursos naturales son necesarios para poder enfrentar la extinción de plantas y animales que es ocasionada por las presiones del humano sobre las áreas naturales principalmente en los trópicos. La conservación o preservación de los ecosistemas depende en gran medida del apoyo y participación del público. Esto se puede lograr por medio de la educación (Jacobson 1997). Lamentablemente los métodos de educación tradicionales, sus técnicas y estrategias a veces son irrelevantes o inaceptables fuera del salón. Muchas veces se enseñan asuntos que en su país o región no tienen relevancia y por lo tanto los estudiantes no se benefician de dicha educación. La educación global ofrece un enfoque interdisciplinario que se presta a ciertos cambios en el contenido, métodos y contexto social en la educación, resultando ser el mejor y más efectivo agente educativo en la era global provocando un mayor interés por parte de los estudiantes (Cogan y Grossman 2000).

Un aumento en la conciencia sobre los cambios globales ha provocado una gran cantidad de respuestas por cuerpos internacionales, agencias gubernamentales y organizaciones no gubernamentales concernientes a la conservación biológica (Wemmer *et al.* 1993). Poca duda persiste en la opinión pública contra el abuso hacia el ambiente y en un tiempo, muchas normas serán reenfocadas gracias a la educación. Actualmente muchas poblaciones no están listas para conocer los retos (Westing 1993). Por ejemplo, el costo de la conservación es tan alto y son tantas las especies en peligro de extinción y ambientes necesarios que proteger que a las agencias gubernamentales se les haría muy difícil costear y mantener todo el proceso. Sin duda que estas agencias ayudan pero no son efectivas si no existe una población que reconozca su importancia, cumpla las leyes y vele porque otros también las cumplan.

Para una participación efectiva del público en general y que intervengan con el cumplimiento de las leyes aprobadas sobre la conservación, es necesario que conozcan sobre los recursos naturales y su conservación. Entonces se hace indispensable que la ciudadanía adquiera conocimiento. Soulé y Sanjayan (1998), indican que si la población desconoce sobre los recursos que nos provee el ambiente cualquier plan de conservación será un posible fracaso. Por lo tanto hay que comenzar a desarrollar programas curriculares que traten el tema de la conservación de una forma global para que la naturaleza sea más comprensible y poder cambiar la visión que se tiene de la conservación y preservación tanto local como global.

La educación global es un currículo interdisciplinario con métodos instruccionales que ayudan a los estudiantes a ver el planeta como un mundo que tiene una sociedad amplia para que puedan entender la interdependencia existente entre los seres humanos (Risinger 1996). Ayuda a comprender que todas las naciones tienen problemas comunes como pobreza, enfermedades, sobrepoblación, luchas políticas y problemas ecológicos (Hendrix 1998). Generalmente los educadores globales quieren ayudar a crear un mejor mundo a través de su currículo y su instrucción (Salmon 1996). Kniep (1986) propone una serie

de elementos que son básicos pero esenciales para la educación global. Entre éstos encontramos el estudio de los asuntos y problemas globales, los asuntos ambientales y de bio-conservación.

La educación ambiental a nivel global no está desarrollando muchos ciudadanos capaces y dispuestos para resolver los problemas ambientales de hoy. Aunque nosotros tenemos una población bastante enterada de los asuntos ambientales del planeta, todavía se carece del conocimiento acerca de las raíces del problema y específicamente sobre cuál es la acción que hay que tomar. Esto es una tarea difícil para tener personas que acepten la necesidad de cambiar sus estilos de vida, cambios que son importantes para solucionar algunos problemas ambientales no sólo de su localidad sino del planeta en general (Gigliotti 1990). Cambios en los programas educativos como se proponen en la educación global podrían ser la solución. Recordemos que el asunto o problema ambiental más irreversible de esta era, es la rápida pérdida de la biodiversidad (Soulé y Sanjayan 1998).

Educación efectiva y programas de comunicación tanto locales como globales son un aspecto esencial de manejo de recursos y una clave a la integración de la conservación biológica con el desarrollo económico, principalmente en los países desarrollados (Jacobson 1997). La habilidad para desarrollar poblaciones que conservan la biodiversidad sin depender de asistencia extranjera es quizás el reto más crítico y complejo del dilema global ambiental. La discusión de los problemas y la prescripción de soluciones abundan en la literatura pero los mecanismos de prevención son escasos (Wemmer *et al.* 1993). Necesariamente hay que hacer unos cambios fundamentales en los sistemas educativos. Estudiantes, maestros, padres y la escuela en general, todos juegan un papel importante en la transición (Hendrix 1998, Hemming 2000). La educación global depende de un currículo interdisciplinario para ayudar a los estudiantes a ver al mundo como una sociedad extensa y que entiendan cómo está estructurada la interdependencia humana. Por ejemplo una crisis ambiental en una localidad se difundirá inmediatamente alrededor del mundo y será reconocida no sólo como un asunto local sino como

uno también global (Anderson *et al.* 1994, Gutek 1997). Sólo por mencionar algunos ejemplos tomemos el caso del derrame de petróleo Exxon Valdez en Alaska, la extinción de varias especies de tigres en Asia y más recientemente los daños ambientales ocasionados por los bombardeos en prácticas militares en la isla de Vieques en Puerto Rico. En el pasado éstos serían sólo eventos aislados o solo reconocidos en sus localidades. Hoy la información sobre estos eventos ha llegado a todo los rincones del planeta y son vistos como asuntos o problemas internacionales.

Como bien se ha señalado, en las últimas décadas se ha visto un aumento consciente del crecimiento de los problemas ambientales a través del mundo. Una de las razones es porque las personas ven estos asuntos como algo que les puede afectar en su diario vivir. A través de la educación global las personas visualizan los asuntos como si fueran parte de ellos. Lamentablemente el estatus de la educación global está fuera de los países en vías de desarrollo y lejos de ser reconocida (Westing 1993). Considerando la condición económica de muchos de estos países, la educación global es pobre, aunque, la realidad es que en los países desarrollados la educación relacionada al ambiente está todavía en pañales. No se le da la atención suficiente para financiar el desarrollo de una educación ambiental formal. Para comenzar, esta debe ser en esencia global y sostenible. Recordemos que el impacto más visible de la globalización en la educación de las sociedades desarrolladas es la imposición de políticas estructurales ajustadas. Esto, entre otras cosas es para la creación de una estabilidad al capital extranjero (Morrow y Torres 2000). Por supuesto, la educación que puede actuar con los asuntos y problemas relacionados al ambiente pasan casi siempre a un segundo plano.

Esta perspectiva global es importante en todos los niveles escolares, en todas las materias curriculares y tanto para niños como para los adultos (Tye y Tye 1992). Por lo tanto, dentro de las políticas educativas se requiere que en los currículos se integre el tema de la educación ambiental tanto en los países desarrollados como en los países en vías de desarrollo. Por lo menos una cantidad de naciones se han impuesto la obligación de proveer una

educación global ambiental amplia (Westing 1993). Singh (1998), señala que los educadores globales esperan que la propuesta, “piensa globalmente aunque actúes localmente” se materialice. Señala que la educación global es una herramienta esencial para lograrlo. A través de la educación global se le enseña a los estudiantes a examinar los costos políticos, sociales y ecológicos del desarrollo económico insostenible y se les motiva a fomentar una reestructuración global.

Muchos estudiantes de países desarrollados concurren a universidades en Norteamérica, pero las ciencias naturales no son su currículo de preferencia. Irónicamente el reto más grande de los países desarrollados es el ambiente ya que últimamente se requiere de soluciones basadas en el conocimiento biológico de los ecosistemas (Wemmer *et al.* 1993).

Según Hicks y Holden (1995), si los estudiantes en las escuelas y universidades quieren ser estudiantes responsables en el siglo 21, necesitan entender claramente los debates sobre los recursos sostenibles e insostenibles. Necesitan conocer que las diferentes autoridades conceptualicen el problema de diferentes formas. La educación global claramente tiene un rol importante en ayudar a los estudiantes para explorar estos asuntos. En esencia es imperativo que los niños, jóvenes y adultos adquieran a través de la educación el conocimiento y valores que los ayude acerca del ambiente. Esto requiere de una educación ambiental que se mantenga con la educación social. Personas que posean un conocimiento formal, que entiendan el mundo natural y que puedan vivir en armonía con él, pero también que entiendan el comportamiento humano y tengan un aprecio por la diversidad cultural. Hasta la fecha según Hicks y Holden (1995), esto no se ha podido aplicar ampliamente. Las distintas instituciones educativas tienen que trabajar consecuentemente para que se entiendan los eventos del mundo ofreciendo una clara perspectiva de otras culturas y ambientales. Se señala además, que el reto de los educadores es producir graduandos que puedan competir no sólo para funcionar profesionalmente en un ambiente determinado, sino que estén equipados intelectualmente para tomar decisiones personales y públicas como ciudadanos de la gran sociedad internacional (Salmon 1996).

Ya existe un aumento en la conciencia sobre los cambios globales y aunque pequeños, éstos han apresurado una serie de respuestas de los cuerpos internacionales, agencias gubernamentales y organizaciones no gubernamentales concernientes a la conservación biológica (Wemmer *et al.* 1998).

Necesitamos una educación biocéntrica que produzca ciudadanos que sean capaces de lidiar a favor del ambiente y la conservación de las especies. Por ejemplo, en los últimos años en el currículo de las escuelas en los Estados Unidos se están incorporando temas y tópicos ambientales. Por lo general estos temas ambientales son solo vistos en las clases de ciencias donde el entrenamiento y la tendencia de los maestros es a excluir los aspectos culturales, ideológicos, políticos, sociales y religiosos del ambiente. Todos estos aspectos se ven en clases separadas sin que se establezca una relación entre ellas (Selby 2000). Se elimina el enfoque interdisciplinario y por lo tanto la interrelación existente entre los temas se pierde. Reduciéndose así el interés por parte de los estudiantes.

La educación global es una sombrilla que cubija, o sea, reúne todos estos temas y promueve la relación existente entre ellos (Selby 2000). Una de las formas más efectivas de llevar a cabo la literaria ambiental es la transformación de nuestras escuelas en comunidades de aprendizaje colaborativo. Así, los estudiantes están expuestos más directamente con el tema y la interacción es mucho más agresiva e interesante. Recordemos que la educación es uno de los agentes que más influencia en la formación de los jóvenes. Dada la cantidad de tiempo que los jóvenes están en la escuela, existe un tremendo rol de ésta en la formación de una nueva sociedad (Johnson y Johnson 1996) principalmente en asuntos del ambiente. Actualmente existen universidades que están preparando a los maestros con un enfoque global por lo tanto éstos han desarrollado componentes globales fuertes. Esto es vital para un desarrollo efectivo de la educación global (Haakenson 1994, Risinger 1996).

Otra dimensión de la necesidad de una educación global es el desasosiego político y la violencia que ha brotado en muchos países, produciendo problemas mundiales como

desplazamiento y personas sin hogar. La violencia política y militar ha causado muchos conflictos y víctimas civiles. Urso (1991), indica que el mundo está fuera de control, el hambre mundial y la falta de hogares son el presente en muchos países. Señala además que hay una degradación ambiental global de grandes proporciones. Cogan y Grossman (2000), por su parte indican que para el milenio actual tanto el planeta como la familia estarán pasando por una serie de retos, asuntos y problemas como:

1. Disparidad del crecimiento económico, debido a la globalización de la economía.
2. Habrá un rápido deterioro en la calidad del ambiente.
3. Desigualdad en el acceso y uso de la tecnología informativa.
4. Aumento en la regulación y control de los gobiernos sobre la vida de las personas.
5. Aumento en los niveles de consumerismo.
6. Conflictos nacionales y regionales basados en raza, religión y etnicidad.
7. Migración masiva de personas por estos conflictos.
8. Pérdida de la eficiencia política.
9. Una reducción de líderes morales y políticos.

Para poder afrontar estos retos se requiere que en los sistemas educativos de las próximas décadas hayan nuevos métodos de educación. Por su parte Gutek (1997), informa que la migración ha creado un fenómeno económico, ecológico y educativo: los trabajadores migrantes. En algunas situaciones, se refiere al escape de "cerebros" altamente educados como los científicos, médicos y educadores que se escapan de los países en vías de desarrollo y practican sus profesiones en los países desarrollados, por supuesto beneficiándose este último. Por otro lado los trabajadores migrantes que son económica, social y educativamente marginados, a estas personas se les necesita proveer educación provocando muchas veces una resistencia cultural la cual a veces se refleja en el ambiente. Mientras los norteamericanos tienen una identidad cultural que es particular al contexto social, político y económico en la cual viven, también tienen una sociedad bien diversa racial, lingüística, cultural y religiosamente (Gutek 1997). Con una educación

global que sea íntegra, los maestros deben alertar a los estudiantes sobre las tendencias acerca de sus actitudes etnocéntricas, sus pensamientos prejuiciados y su comportamiento discriminatorio. Recordemos que nosotros al igual que otras especies de organismos somos entes ecológicos, formamos poblaciones e interactuamos unos con otros o sea desarrollamos dinámicas poblacionales. Pero con una población humana creciente, habrá mayor utilización de recursos que en el aspecto ambiental se traduce en mayor utilización de tierras y esto trae como consecuencia deforestación, contaminación y por lo tanto la inevitable extinción.

Tenemos que tener en cuenta que el principal problema científico del mundo es el problema poblacional humano. Este es un asunto ya de conocimiento general, pero lo grave de la situación es, ¿Cómo vamos a trabajar con el problema? Biólogos expertos en el área tratan de encontrar una solución. Este es un problema sumamente interdisciplinario y para tratar de conseguir la solución al aumento poblacional hay que tratar entre otros aspectos con culturas, economías, políticas y geologías. Esto lo podemos lograr gracias a la educación global. Según Díaz *et al.* (1998), el conocimiento y entendimiento de los asuntos mundiales es un requisito para que los ciudadanos puedan tomar decisiones políticas, económicas y ecológicas entre otras. Una población consciente de los problemas globales está mucho más equipada y consciente de los asuntos y por lo tanto se presta mucho más a la búsqueda de soluciones viables. Pero mientras tanto el ambiente sigue deteriorándose de forma acelerada y las especies siguen extinguiéndose. La agrupación que trabaja con la conservación del ambiente y las especies "World Wildlife Foundation" revela que aproximadamente 100 especies comienzan a extinguirse diariamente, pero, sólo una especie puede salvarlas... la humana. Podemos desarrollar y lograr esta especie gracias a una educación ambiental con sentido, una educación que realmente penetre en las vidas de las personas. Con una buena educación global podemos alcanzar este objetivo. Porque si no se conoce, no se valoriza y por lo tanto no se conserva.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Dr. Roberto Mercado, profesor del Centro de Estudios Universitarios en Monterrey por su valiosa aportación para la realización de este trabajo.

LITERATURA CITADA

- Anderson, C., S. Nicklas, y A. Crawford. 1994. Global understandings: a framework for teaching and learning. Association for Supervisor and Curriculum Development, Virginia.
- Butler, P. 1995. Marketing the conservation message: using parrots to promote protection and pride in the Caribbean. Páginas 87-102 en S. Jacobson, editor. *Conserving Wildlife: international education and communication approaches*. Columbus University Press, NY.
- Cogan, J. y D. Grossman. 2000. Citizenship: the democratic imagination in a global: local context. *Social Education* 64(1):48-52.
- Díaz, C., B. Massialas, y J. Kanthopoulos. 1998. *Global perspectives for educators*. Allyn y Bacon, EU. 227 págs.
- Gigliotti, L. 1990. Environment education: GAT went wrong? GAT can be done? *The Journal of Environmental Education* 22(1):9-12.
- Gutek, G. 1997. American education in a global society: internationalizing teacher education. Waveland Press, EU.
- Haakenson, P. 1994. Recent trends in global/international education. *Eric Digest* ED373021.
- Hemming, J. 2000. Reschooling and the global future. *Journal of Moral Education* 29(1):11-118.
- Hendrix, J. 1998. Globalizing the curriculum. *Clearing House* 71(5):305-308.
- Hicks, D. y C. Holden. 1995. Exploring the future: a missing dimension in environmental education. *Environmental Education Research* 1(2):185-193.
- Jacobson, S. 1997. Rapid assessment to conservation education. *The Journal of Environmental Education* 28(3):10-19.
- Jarvis, P. 1999. Global trends in lifelong learning and response of the universities. *Comparative Education* 35(2):249-257.
- Johnson, M. y Johnson, J. 1996. Daily life in Japanese high school. *Eric Digest* ED406301.
- Jones, P. 1998. Globalization and internationalism: democratic prospects for world education. *Comparative Education* 34(2):143-155.

- Josephson, J. 2000. Going, plant species extinction in the 21st century. *Environmental Science and Technology* 34(5):130-135.
- Kniep, W. 1986. Defining a global education by its content. *Social Education* 50(6):437-446.
- Morrow, R. y C. Torres. 2000. The state, globalization, and educational policy. Páginas 27-56 *en* N. Burgules y C. Torres, editores. *Globalization and education: critical perspectives*. Routledge, NY.
- Norberg-Hodge. 1999. Turning the globalization tide. *Ecologist* 29(3):200-202.
- Raven, P. 1987. Population, poverty, and politics in the tropics. *Monsanto Biotechnology Lecture* 1:8-10.
- Risinger, F.C. 1996. Global and international education on the World Wide Web. *Social Education* 60(7):447-448.
- Salmon, S. 1996. Global education. *Social Education* 60(7):1-5.
- Selby, D. 2000. A darker shade of green: the importance of ecological thinking in global education and school reform. *Theory Into Practice* 39(2):88-96.
- Singh, M. 1998. Critical literacy strategies for environmental educators. *Environmental Education Research* 4(3):341-354.
- Soulé, M.E. y M.A. Sanjayan. 1998. Conservation targets: do they help? *Science* 279(27):2060-2061.
- Tye, B. y K. Tye. 1992. *Global education: a study of school change*. State University of New York, NY.
- Urso, I. 1991. Teacher development through global education. Páginas 100-108 *en* K. Tye, editor. *Global Education: from thought to action*. Ventura Publisher, EU.
- Wemmer, C., R. Rudran, F. Dallmeier, y D.E. Wilson. 1993. Training developing-country nationals is the critical ingredient to conserving global biodiversity. *BioScience* 43(11):762-767.
- Westing, A. 1993. Education: the global need for environmental education. *Environment* 35(7):4-5.

ACTA CIENTÍFICA is the multidisciplinary 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, pharmaceutical technology, and/or mathematics. An *article* describes a complete and definite study. *Notes* describe a complete project, shorter, and usually referring 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 triplicate 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 according to ACTA's editorial norms. Manuscripts can be presented in English or Spanish. Papers submitted for publication should be concise and appropriate in style and use of abbreviations. 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
International Institute of Tropical Forestry
USDA Forest Service
PO Box 25000
Río Piedras, Puerto Rico 00928-5000

In order to ensure due consideration to each manuscript, authors are advised to consult the following INSTRUCTIONS TO AUTHORS:

- 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 translated into English. Spanish in each case. 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.
- Figures and photos should be identified on the reverse side by sequential number, first author's name, and manuscript title. A list of figures with corresponding legends should be typed double-spaced on separate pages.
- Tables should be typed double-spaced, presented on separate pages, numbered consecutively, have a short title, and be precise. Do not repeat the same material in figures and tables.
- 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 in particular that SI requires: (1) the use of the terms "mass" or "force" rather than "weight", (2) when one unit appears in a denominator, use the solidus (e.g., g m⁻¹); for two or more units a denominator, use one solidus and a period (e.g., g m² d); (3) use the capital "L" as the symbol for litre.
- Assemble the parts of the manuscript in this order: title page, abstract, text, acknowledgements, literature cited, appendices, tables, figure legends, and figures. Number all pages.

We recommend authors accompany the manuscript text with a list of all appendices, figures, photos, tables, etc.

ACTA provides authors with 25 reprints of each article, free of cost. Additional reprints can be ordered at the time of receiving the galleys.

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. This journal serves no commercial interest and does not provide economic benefit to its editors.

ACTA CIENTÍFICA

TABLA DE CONTENIDO

EDITORIAL	1
ARTÍCULO	
Los planes de aprovechamiento forestal de la Inspección de Montes de Puerto Rico en los manglares de Cabo Rojo durante los años de 1877-78 a 1888-89	3
<i>Carlos M. Domínguez Cristóbal</i>	
REVISIÓN	
El karst de Puerto Rico	13
<i>María A. Juncos Gautier</i>	
ENSAYOS	
El entendimiento conceptual y otros desafíos de la transformación educativa	45
<i>Ángeles Molina Iturrondo</i>	
La educación global como una alternativa para la conservación del ambiente	49
<i>Jaime L. Otero Vázquez</i>	