

Estado Libre Asociado de Puerto Rico  
Departamento de Recursos Naturales y Ambientales

# ESTUDIO DEL CARSO



30 de septiembre de 2008

Documento preparado en cooperación con agencias federales y estatales a tenor con lo dispuesto en la Ley para la Protección y Conservación de la Fisiografía Cársica de Puerto Rico.

Estado Libre Asociado de Puerto Rico  
Departamento de Recursos Naturales y Ambientales

Estudio del Carso de Puerto Rico: en conformidad con  
la Ley Núm. 292 de 21 de agosto de 1999



Javier Vélez Arocho  
Secretario

Septiembre 2008

## **Créditos**

### Coordinación

Celso Rossy Torres

### Redacción

Lcda. Maritza Santiago López

Wendy Boneta Vélez

### Colaboradores Departamento de Recursos Naturales y Ambientales

Andrea Handler Ruiz

Carlos Paniagua Valverde (Destacado en la EPA)

Daniel Dávila Casanova

Dianys Arocho

Edgardo González González

Ernesto Díaz Velázquez

Francisco A. Catalá Míguez

Giovanna I. Fuentes Santiago

Harrison W. Flores Ortiz

Iris Tirado

Julio A. Toro M<sup>c</sup>Cown

Luis D. Beltrán Burgos

Marianela Torres Rodríguez

Mildred Sotomayor Bourbón

Rojeanne Salles O'Farrill

Roxana Caballer

Ruth H. Vélez Rosado

Tomás Riesco

Vicente Quevedo Bonilla

### Colaboradores agencias estatales

Pedro Guevara, Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico (JCA)

Tamara González Vega, Consejo de Arqueología Terrestre (CAT)

Además de personal técnico y administrativo de la Junta de Planificación de Puerto Rico (JP), Autoridad de Carreteras y Transportación (ACT), Centro de Recaudaciones de Ingresos Municipales (CRIM) y Colegio de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Puerto Rico - Recinto de Mayagüez.

### Colaboradores agencias federales

Fernando Gómez-Gómez, Servicio Geológico Federal (USGS)

Pedro L. Díaz, Servicio Geológico Federal (USGS)

Carl Soderberg, Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA)

Pedro A. Gelabert, Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA)

Además de personal técnico y administrativo del Servicio Geológico Federal (USGS), Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA), Instituto de Dasonomía Tropical, Servicio Forestal Federal (IITF) y Departamento de Agricultura Federal (USDA).

### Colaboradores externos

Julio Rodríguez Planell, Sociedad Espeleológica de Puerto Rico, Inc.

Ramón Carrasquillo, Sociedad Espeleológica de Puerto Rico, Inc.

## **Reconocimiento**

Reconocemos y agradecemos la colaboración de Don Pedro A. Gelabert, geólogo de profesión, pero incansable servidor público y defensor del ambiente por decisión. Don Pedro, como se le conoce cariñosamente, a través de su carrera profesional tuvo la distinción de dirigir la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico, el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales y la Oficina de la Agencia Federal para la Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) en Puerto Rico.

Reconocemos su invaluable ayuda, análisis y ponderación técnica sin la cual no hubiese sido posible obtener un documento que refleje no solo el mandato de ley sino la ineludible responsabilidad de proteger para las futuras generaciones de puertorriqueños los beneficios ambientales, económicos, sociales y culturales que nos ofrece el Carso.

## Tabla de contenido

<b>Resumen</b> .....	1
<b><i>Introducción</i></b> .....	4
<b>Geología</b> .....	6
<b>Geomorfología</b> .....	10
Provincia del Carso Norteño .....	13
Región de las Calizas del Sur .....	15
Faja Caliza del Interior .....	15
Islas adyacentes.....	16
<b>Hidrografía</b> .....	17
Hidrografía superficial .....	17
Hidrografía subterránea .....	19
Región del Carso Norteño .....	20
Región de las Calizas del Sur .....	22
Isla de Mona .....	23
Islote de Monito .....	23
<b>Ecología</b> .....	23
Flora .....	27
Fauna.....	33
Aves .....	33
Herpetofauna .....	35
Mamíferos.....	37
Invertebrados.....	38
Fauna Acuática.....	38
<b>Valores estéticos, sociales y culturales</b> .....	39
<b><i>Metodología</i></b> .....	41
<b><i>Aplicación</i></b> .....	52
Reglamentación.....	52
Clasificación.....	53
Calificación .....	534
<b><i>Recomendaciones</i></b> .....	56
Acciones viables a CORTO PLAZO (18 meses):.....	56
Acciones viables a LARGO PLAZO (60 meses): .....	59
<b>Apéndices</b> .....	62
Mapa 1: Terrenos del Carso con Prioridad de Conservación.....	63
Mapa 2: Áreas Restringidas (estudio Preliminar) en el Carso de Puerto Rico.....	64
Anejo 1: Áreas Designadas como Hábitat Natural Crítico Esencial en Puerto Rico .....	65
Anejo 2: Organigrama del Comité Multisectorial.....	71
Tabla 1: Tiempo geológico .....	72
Tabla 2: Especies designadas como en peligro de extinción o vulnerables, según los estatutos estatales y federales .....	73

Tabla 3: Elementos críticos en las áreas cársicas protegidas del norte; según el Programa de Patrimonio Natural del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales .....	76
Tabla 4: Elementos críticos en las áreas cársicas protegidas del sur; según el Programa de Patrimonio Natural del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales .....	83
Tabla 5: Elementos críticos en los lentes calizos protegidos; según el Programa de Patrimonio Natural del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales .....	85
Tabla 6: Elementos críticos en las áreas cársicas protegidas de las islas limítrofes; según el Programa de Patrimonio Natural del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales.....	86
Tabla 7: Especies de murciélagos, alimento y refugio diurno .....	88
Tabla 8: Categorías primarias y criterios utilizados en la primera etapa del estudio .....	89
Tabla 9: Categorías primarias y criterios utilizados en la segunda etapa del estudio .....	90
<b>Glosario</b> .....	91
<b>Bibliografía</b> .....	102

## Resumen

La Ley Núm. 292 de 21 de agosto de 1999, conocida como la Ley para la Protección y Conservación de la Fisiografía Cársica de Puerto Rico, dispone en su Artículo 5 que:

*“El Secretario del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales ordenará a los Negociados de Geología, Recursos de Agua, Programa de Zona Costanera, Patrimonio Natural y al Negociado de Pesca y Vida Silvestre que **lleven a cabo un estudio que defina las áreas que, debido a su importancia y función geológica, hidrológica y ecosistémica, no puedan ser utilizados bajo ningún concepto para la extracción de materiales de la corteza terrestre con propósitos comerciales, ni para explotaciones comerciales.** Dicho estudio ofrecerá alternativas para que las actividades antes señaladas puedan llevarse a cabo bajo condiciones apropiadas en otras áreas de la zona cársica.”* (énfasis suplido)

Este escrito y sus recomendaciones, así como los anejos y los respectivos mapas, constituyen el estudio requerido por la Ley Núm. 292, *supra*. Como parte del mismo, y en cumplimiento con el mandato de esta ley, el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), mediante colaboración interagencial y de grupos interesados<sup>1</sup>, ha preparado un mapa (Mapa 1) que identifica aquellas áreas dentro de las regiones cársicas de Puerto Rico donde no se podrán efectuar actividades de extracción de materiales de la corteza terrestre para fines comerciales, ni para explotaciones comerciales, las cuales han sido denominadas

---

<sup>1</sup> Agencias federales colaboradoras: Servicio Geológico Federal (USGS, por sus siglas en inglés); Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés); Instituto de Dasonomía Tropical, Servicio Forestal Federal (IITF, por sus siglas en inglés); Departamento de Agricultura Federal (USDA, por sus siglas en inglés). Agencias estatales colaboradoras: Autoridad de Carreteras y Transportación (ACT); Junta de Calidad Ambiental (JCA); Junta de Planificación (JP); Centro de Recaudaciones de Ingresos Municipales (CRIM); Colegio de Ciencias Agrícolas, Universidad de Puerto Rico - Recinto de Mayagüez; Consejo de Arqueología Terrestre. Grupos interesados: Sociedad Espeleológica de Puerto Rico (SEPRI) y Ciudadanos del Karso (CDK).

como *áreas restringidas*. Las delimitaciones en el Mapa 1 son el resultado de la revisión, evaluación y análisis ponderado de los documentos e información disponibles sobre el carso puertorriqueño, dentro del marco de su importancia y función geológica, hidrológica y ecológica, entre otros aspectos.

Las diversas capas de información consideradas, algunas de ellas provistas por las agencias colaboradoras o los grupos de interés, están disponibles en el DRNA.<sup>2</sup>

Como resultado del análisis efectuado surgen varias recomendaciones, que incluye consideraciones para evaluar las actividades de extracción de materiales de la corteza terrestre propuestas en las áreas cársicas que ubiquen dentro o fuera de las demarcadas en el mapa producido. Además, dirige los esfuerzos de manejo para distinguir áreas con prioridad de conservación en la región del carso y su identificación como áreas de posible expansión de áreas naturales protegidas, así como la conexión y enlace con el sistema de bosques estatales, reservas naturales y refugios de vida silvestre del DRNA.<sup>3</sup>

Este estudio es una herramienta funcional de trabajo para que las agencias estatales con jurisdicción planifiquen el uso del terreno y el manejo de los recursos naturales. Las etapas subsiguientes de esta gestión serán la

---

<sup>2</sup> Aclaremos que parte de esta información es de reciente creación, exclusivamente preparada para este estudio. La misma estará disponible al público en general una vez se tenga la aprobación a tales efectos de las agencias o grupos correspondientes. Resta incorporar a este banco de datos (entre otra información) la localización de las canteras, cuya información digitalizada está en proceso de cotejo.

<sup>3</sup> Los Bosques Estatales de Guajataca, Río Abajo, Cambalache, Vega y San Patricio constituyen una secuencia de terrenos protegidos en el carso norteño, que por años han servido de áreas de recarga para el acuífero del Norte, como también de fuente de semillas, hábitat de vida silvestre y áreas para la conservación de la biodiversidad. La ampliación en terreno de estos bosques, ya sea por conexión directa o mediante corredores ecológicos, protegería la permanencia de los procesos biológicos e hidrológicos que requieren de interconectividad y que caracterizan los hábitats naturales de alto valor que sostienen. A estos terrenos se unen otros de significativo valor natural por sus atributos físicos y ecológicos típicos del terreno cársico, como: el sistema de Cuevas de Aguas Buenas, el Cerro las Cuevas en Juana Díaz, el sistema de Cuevas El Convento entre Guayanilla y Peñuelas, y el Cañón del Río Guajataca, entre otros.

implantación de las recomendaciones en este documento esbozadas. Esto requerirá, entre otros aspectos, la incorporación de las agencias con jurisdicción y otros grupos de interés para la pertinente consideración y toma de decisiones.

Sin embargo, no debemos olvidar que este estudio no es un esfuerzo aislado para la protección del Carso. Tanto agencias gubernamentales como grupos civiles, a través de la adquisición de terrenos, designación de servidumbres de conservación, arrendamiento de terrenos, designación de áreas naturales, etc. están trabajando hacia este fin.

## ***Introducción***

Puerto Rico está contituido por varias islas oceánicas. El área total de su territorio, incluyendo islas, cayos e islotes, es de unas 3,435 millas cuadradas aproximadamente (Cruz-Báez, et al. 2002). Al este de Puerto Rico se encuentran Vieques y Culebra, las dos islas adyacentes de mayor tamaño. Hacia el oeste se encuentran otras tres islas: Mona, Monito y Desecheo. Las otras islas, cayos e islotes son decenas de fragmentos separados de la masa de la isla principal y se encuentran a lo largo de las costas de Puerto Rico, principalmente hacia el sur y este (Cruz-Báez, et al. 2002).

Las formas de relieve de la Isla de Puerto Rico están divididos en tres regiones geomórficas principales: la Región Montañosa Central, los Llanos Costeros Aluviales y la Provincia del Carso Norteño; aunque existen otras dos regiones secundarias de nuestro interés: Faja Caliza del Interior y Región de las Calizas del Sur.

Estas formas de relieve son el resultado de procesos constructivos y destructivos que han estado actuando durante millones de años. Los procesos constructivos, a los que también se le llaman orogénicos, que actuaron y seguirán actuando en la formación de Puerto Rico son la sedimentación, movimientos tectónicos, vulcanismo y plutonismo; mientras que los procesos destructivos son la erosión y meteorización. La forma en que estos procesos acontecieron se explica adelante de forma sencilla y breve.

El nacimiento de Puerto Rico ocurre por erupciones volcánicas (Cruz-Báez, et al. 2002) que formaron pequeñas islas alrededor de las cuales se sedimentaron

fragmentos de organismos marinos. Luego movimientos tectónicos laterales hicieron emerger estas rocas (volcánicas y calizas) sobre el nivel del mar quedando así expuestas a la intemperie y a la acción corrosiva de la lluvia. Luego de un periodo de poca actividad orogénica se originó una etapa de erosión, la cual formó una penillanura que actualmente se conoce como la Superficie de Erosión de Barranquitas y que fuera llamada como Penillanura Saint John por Meyerhoff y Penillanura Superior por Lobeck (Picó, 1975; Cruz-Báez, et al. 2002). Esta etapa de erosión fue detenida por nuevas presiones laterales que hicieron emerger la penillanura como un bloque, toda a la vez, con la que emerge nueva roca caliza y se da comienzo a otra etapa de erosión. Este segundo proceso de erosión dió origen a otra penillanura, la Penillanura Caguana, nombrada así por Meyerhoff, y que antes fuera identificada como Penillanura Inferior por Lobeck (Picó, 1975). Al igual que la anterior etapa de erosión ésta termina con la elevación de la nueva penillanura a causa de movimientos tectónicos laterales. Sin embargo, la elevación de la Penillanura Caguana fue desigual, la parte oeste se levanto más con relación al este. Asimismo, hubo un hundimiento al noreste que dejó ese segmento de la penillanura bajo el mar (Cruz-Báez, et al. 2002). Este segundo levantamiento dio origen a la tercera etapa de erosión. Esta etapa es en la que nos encontramos actualmente y la que ha dado formación a los llanos costeros y valles interiores.

Para llevar a cabo este estudio se evaluaron diferentes mapas (Monroe, 1976; Junta de Planificación, 2007) en los que se delimitan las regiones de calizas y las regiones de fisiografía cársica en Puerto Rico, esto porque todas las regiones de fisiografía cársica están contenidas dentro de las regiones de calizas. Sin embargo, siempre se mantuvo en perspectiva que el propósito principal de este estudio es cumplir con el mandato de la Ley Núm. 292, *supra*: la protección y conservación de la fisiografía cársica de Puerto Rico.

## Geología

Las regiones calizas son definidas como todas las áreas donde se encuentran depósitos o afloramientos de roca cuyo componente principal lo es el carbonato de calcio o calcita. La mayoría de los depósitos calizos son de origen marino, resultado de precipitación orgánica o química. Este es el caso de las formaciones que constituyen a Puerto Rico, donde 27.5% (Lugo, et al., 2001) de la superficie expone depósitos de tiza y acumulaciones típicas de formación de arrecifes orgánicos que se desarrollaron en la periferia de islas volcánicas conteniendo algas calcáreas, corales, moluscos y foraminífera. La región caliza se extiende desde Loíza hasta Añasco en el norte, desde Salinas hasta Cabo Rojo en el sur, bajo los terrenos sumergidos de ambas costas y en algunas de las islas limítrofes; a esto se le suman una serie de formaciones de mármol o caliza cristalina (caliza azul) en el interior de Puerto Rico<sup>4</sup>.

En Puerto Rico los depósitos de rocas calizas más antiguos datan del Periodo Cretácico Inferior (Tabla 1). Los depósitos de este período se encuentran localizados en Caguas, Aguas Buenas, Comerío, Barranquitas, Cidra y Cayey (Monroe, 1976). Los de mayor relevancia son los de la Caliza Aguas Buenas. Esta caliza lenticular posee un color entre gris claro a gris oscuro, además de presentar una abundante cantidad de fósiles de rudistas y gastrópodos. En el área del Sistema de Cuevas de Aguas Buenas, la coloración de esta caliza fluctúa de grisácea a grisácea-azulosa, contiene capas fosilíferas y está altamente fracturada debido a fallas en la roca<sup>5</sup>.

Los depósitos del Periodo Cretácico Superior que se encuentran hacia el este y la zona central de Puerto Rico son comúnmente unidades relativamente delgadas,

---

<sup>4</sup> Correo electrónico del Geólogo Pedro Gelabert al Planificador Celso Rossy, 13 de diciembre de 2007.

<sup>5</sup> Correo electrónico de la Geóloga Ruth Vélez a la Bióloga Wendy Boneta, 18 de agosto de 2008.

los más extensos y masivos se encuentran hacia el suroeste (Monroe, 1976). De este periodo aquellas calizas que fueron consideradas por el grupo de trabajo como representativas fueron la Unidad Río Matón de la Formación Robles, Caliza Peñones y Caliza Cotui. La Unidad Río Matón el cual aflora en forma de lentes en Barranquitas y Cayey, consiste de rocas cristalinas grisáceas<sup>6</sup>. La Caliza Peñones tiene tonalidades de marrón grisáceo claro, es una roca mayormente masiva que consiste de fósiles con forma desde angular hasta ligeramente redondeada. Del 20 al 85% de la roca consiste de foraminíferas, fragmentos de conchas, estromatoporoides, fragmentos de equinodermos y algunos rudistos<sup>7</sup>. Afloramientos de Caliza Peñones se observan en San Germán. La Caliza Cotui, con lentes en San Germán, Lajas y Cabo Rojo, muestra tonalidades de grisáceo a marrón grisáceo, ocurre en capas gruesas o masivas y consiste de calizas densas y compuestas de bioclastos<sup>8</sup>. El componente fosilífero más común es el rudisto, especie de molusco importantísimo para la identificación y descripción de paleoambientes.

Ya en el Periodo Terciario encontramos formaciones calizas que datan del Paleoceno al Eoceno, en las cuales se han desarrollado cuevas, resaltando la formación Caliza Cuevas que aflora en el sur de la Isla.

No obstante, los depósitos calizos de mayor relevancia en la formación de expresiones cársticas son aquellos del Oligoceno al Mioceno. Estos yacimientos afloran tanto en el norte como en el sur de Puerto Rico, pero su mayor extensión, y donde mejor se manifiesta el carso, es en la amplia franja caliza del norte.

La base secuencial terciaria de estas formaciones calizas descansa principalmente sobre la Formación San Sebastián, compuesta

---

<sup>6</sup> Idem

<sup>7</sup> Idem

<sup>8</sup> Idem

predominantemente de arcilla, arena y algunas estratificaciones lenticulares de caliza arenosa que no exhibe rasgos cársicos<sup>9</sup>. Esta formación constituye una capa impermeable que podría muy bien formar la base de los pasadizos de agua en las cuevas desarrolladas en las calizas superiores. Sobre esta Formación San Sebastián y en orden ascendente de edad, de la más antigua a la más reciente, se han dividido los yacimientos calizos en seis unidades, cada una con características de disolución particulares:

- Caliza Lares – compuesta de caliza casi pura con gran diversidad de fósiles; se extiende desde Corozal hacia Moca.
- Formación Mucarabones – compuesta de capas de caliza arenosa depositados en la antigua región costera; constituye la expresión oriental equivalente a la Caliza Lares y los depósitos inferiores de la Formación Cibao; contiene lentes pequeños de caliza pura que afloran en Morovis.
- Caliza Cibao – compuesta de varios miembros (Caliza Montebello, Caliza Quebrada Arenas y Río Indio, compuestas de carbonato de calcio depositado en la plataforma interior costera) que tienen una litología heterogénea con composición arenosa, arcillosa, tizosa y depósitos casi puros de carbonato de calcio (caliza). Aflora en Ciales, Corozal, Lares, Florida y Camuy.
- Formación Los Puertos o Caliza Aguada – compuesta principalmente de caliza con pocas impurezas depositada en ambientes marinos, confundible con los depósitos calizos de la Formación Cibao. Aflora a lo largo del cinturón calizo del norte.
- Caliza Aymamón – compuesta principalmente de caliza muy pura, sin arcilla o arena y alto grado de fracturas en las rocas. Se extiende desde Loíza hasta Aguadilla.
- Formación Camuy o Caliza Quebradillas – compuesta de arena, arcilla y de caliza depositada en ambientes marinos internos, fuera de la plataforma costera que constituyen un cinturón discontinuo desde el Río de La Plata hasta Isabela.

---

<sup>9</sup> La Formación San Sebastián no se depositó en aquellos lugares donde el terreno se proyectaba sobre el nivel del mar; en estos lugares la Formación Lares descansa directamente sobre una base de arenisca, rocas volcánicas e intrusivas o rocas metamórficas.

En la región sur de la Isla la geología del Periodo Terciario que presenta características propias del proceso de carsificación esta dividida en:

- La Formación Juana Díaz (del Oligoceno y Mioceno) que se subdivide en varias unidades lenticulares y entrelazadas de arena, arcilla, grava, cienos, tiza y caliza. En la Formación Juana Díaz la caliza ocurre en diferentes estratos y se extiende desde la Bahía de Guánica hasta la ciudad de Ponce. Aunque aflora también, pero en pequeñas áreas, cerca de Santa Isabel y de Salinas. La única parte de esta formación que exhibe rasgos cárnicos ubica al Sur-Suroeste de Peñuelas, donde se han desarrollado varias cuevas de gran tamaño.
- La Caliza de Ponce (del Mioceno) que además contiene arena, grava y cienos. Esta formación (que litológicamente asemeja las características de las formaciones de Aymamón y Aguada en el norte) podría desarrollar una gran diversidad de rasgos cárnicos si estuviese ubicada en una parte de la Isla con mayor humedad.

En algunos sectores, las formaciones calizas descritas se encuentran cubiertas por depósitos costeros, aluviales o de manto arenoso que no están compuestos de material calcáreo y por lo tanto, no exhiben rasgos cárnicos. Sin embargo, el agua superficial percola a través de éstos, acidificándose, y disolviendo la caliza subyacente. Este proceso resulta en episodios de subsidencia del terreno en algunos lugares.

Por su parte las islas adyacentes donde se observan depósitos calizos son: Mona, Monito, Caja de Muertos y Vieques.

La Isla de Mona y el Islote de Monito son dos mesetas de roca carbonatada de origen sedimentario. Se formaron de la deposición de carbonato cálcico en el fondo marino y el subsiguiente levantamiento durante el Mioceno. La Isla de Mona está compuesta por Dolomita de Isla de Mona y Formación Lirio (Caliza Lirio) (Frank, et al., 1998). La Formación Lirio descansa sobre la Dolomita de Isla de Mona, formando la superficie de Isla de Mona (Frank, et al., 1998).

Las otras tres islas son de origen volcánico. Vieques es parte de una gran masa de granito conocida como el Batolito de San Lorenzo, ubicada entre San Lorenzo, Las Piedras y Humacao, que al igual de Puerto Rico, estuvo parcialmente sumergida; periodo durante el cual se depositó carbonato de calcio y este luego emergió por movimientos tectónicos. El depósito calizo más importante de Vieques se encuentra en la Punta Este.

Al norte de la Isla Caja de Muertos existe una capa de caliza del Mioceno en el Periodo Terciario (DRNA, 1980). Esta caliza en Caja de Muertos ha sido identificada por sus características físicas, estructurales y paleontológicas como Caliza Ponce, la misma caliza presente al sur de Puerto Rico (DRNA, 1980).

## **Geomorfología**

Por otro lado, el término cársico es uno geomorfológico con el que se describe la fisiografía de una región. Por lo tanto, las regiones cársicas contienen rasgos topográficos de expresión superficial y subterránea particulares, donde se han desarrollado ecosistemas únicos con una gran diversidad de especies de flora y fauna. Este terreno se desarrolla en una geología compuesta por rocas carbonatadas<sup>10</sup> a través de la disolución (proceso químico) o por la abrasión (proceso mecánico). El proceso, ya sea químico o mecánico, que disuelve o desgasta la roca carbonatada y propicia el desarrollo de una fisiografía superficial y subterránea se conoce como carsificación.

El proceso químico es el más común y para que haya disolución de la roca se necesitan de tres componentes principales: dióxido de carbono, agua y carbonato de calcio. El agua (H<sub>2</sub>O) recoge el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del aire y del suelo, formando ácido carbónico (H<sup>+</sup>(HCO<sub>3</sub>)<sup>-</sup>), transformando en el proceso el

---

<sup>10</sup> Estas son rocas que contienen sobre 75% de carbonato de calcio, como la caliza (compuesta principalmente por calcita) o la dolomía (constituida esencialmente de dolomita a la que se le mezcla a menudo calcita).

agua pura en agua acidulada<sup>11</sup>. Al entrar en contacto con la roca caliza (CaCO<sub>3</sub>) el ión libre del ácido (H<sup>+</sup>) se combina con el ión del carbonato de calcio (CO<sub>3</sub>)<sup>-2</sup> para formar un ión de bicarbonato (HCO<sub>3</sub>)<sup>-</sup>, que en efecto es una sal soluble. El escurrimiento y la infiltración del agua acidulada en la roca caliza, a través de grietas, fracturas o aperturas, disuelve la misma, dando paso a un sistema geomorfológico e hidrológico característico asociado a estas rocas solubles.

La reacción química que ocurre puede resumirse como sigue:



En estas zonas, por tanto, existe un proceso activo de disolución causado por la hidrología de la superficie y del terreno subterráneo debido a la constitución de carbonato de calcio de la roca caliza que es disuelta por la esorrentía de las aguas.

Pero esta reacción y la subsecuente formación de las geofomas dependen de diversos factores, tales como:

- Características estructurales y de litología de la roca: densidad, porosidad primaria, porosidad secundaria (fracturas) bien desarrollada y tamaño, entre otras.
- Características químicas de las rocas: solubilidad, cantidad y calidad de calcita (pureza) y proporción de contenido de minerales arcillosos o sílice (en forma de granos de cuarzo, calcedonia o pedernal). Las rocas más

---

<sup>11</sup> Estudios han demostrado que el agua que drena a través de suelos húmedos ricos en materia orgánica contienen una concentración mucho mayor de ácido carbónico que el agua de lluvia sola. Otros ácidos, como el HNO<sub>3</sub>, derivado del nitrógeno en la atmósfera y fijado por la acción de las bacterias, y el ácido húmico, derivado del humus, entre otros, podrían tener algún efecto sobre la disolución de la caliza. Sin embargo, la actividad bacterial actúa sobre los mismos casi al contacto, transformándolos en CO<sub>2</sub>.

comunes son: la caliza ( $\text{CaCO}_3$ ), la dolomita ( $\text{CaMg}_2\text{CO}_6$ ) y el yeso ( $\text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ).

- El clima y la temperatura promedio de la región: la humedad presente en el trópico resulta en eventos de precipitación recurrentes y abundantes que facilita el transporte y transformación del dióxido de carbono para formar agua acidulada.
- La cantidad de vegetación: Mientras mayor cobertura vegetal sobre una capa de suelo, mayor disponibilidad de dióxido de carbono y la formación de agua acidulada con capacidad de disolver la roca caliza subyacente.
- El levantamiento de las rocas y la situación hidrogeológica presente: La exposición de los yacimientos calizos a la intemperie permite la formación de suelo, el desarrollo de una cobertura vegetal en su superficie y el escurrimiento e infiltración de agua dulce acidulada, incrementando el ritmo de disolución de la roca; la cual también es afectada por el paso de corrientes subterráneas de agua acidulada y cambios en el nivel freático.
- Corrientes de vientos alisios: el viento empuja la lluvia entre las grietas de las rocas en las laderas este y noreste de los mogotes, provocando que estas se empapen más que las oestes.

La disolución de roca carbonatada es una reacción reversible, por lo que ligeros cambios en temperatura, disminución en la presión de vapor de  $\text{CO}_2$ , o la pérdida de agua, ocasionaría que la solución pierda  $\text{CO}_2$ ; por lo que se rompe el bicarbonato de calcio restableciendo el  $\text{CaCO}_3$ , que tiende a reprecipitarse. Mediante este proceso, conocido como recristalización, se crea una costra superficial que endurece la roca, restringiendo el impacto de los procesos

erosivos sobre las mismas. Muchos depósitos calizos en Puerto Rico han pasado por el proceso de recristalización.

La expresión del terreno cársico de Puerto Rico es reconocida en la literatura científica internacional como única en su clase dentro de la zona tropical<sup>12</sup>. La topografía del carso forma un sistema geomórfico distintivo. En la superficie presenta rasgos tales como: sumideros o dolinas, valles de disolución, acantilados costeros, cañones, cuevas marinas, chimeneas, zanjones, karren (también conocido como “dientes de perro”), manantiales y un extenso sistema de colinas compuesto de torres, mesetas y mogotes (también conocidos como pepinos). En algunos sectores se configura un cinturón de colinas calizas interconectadas, mientras que en otros se distingue un patrón esporádico de mogotes aislados. En el carso prevalece una topografía ondulada, a veces con pendientes muy precipitadas hacia valles aluviales o sumideros<sup>13</sup>. En el ámbito subterráneo se destaca la presencia de cuevas, cavernas, túneles y ríos subterráneos. Los túneles, por donde los ríos fluyen, forman junto a las grietas, fisuras y cavidades en la roca un complejo sistema de drenaje.

### Provincia del Carso Norteño

La Provincia del Carso Norteño, ubicada en el noroeste de Puerto Rico, entre el espinazo montañoso y las llanuras costeras, presenta todos los relieves topográficos cársicos que se encuentran en Puerto Rico. En esta área los mogotes han ido desapareciendo de forma acelerada hacia el este del Río de la

---

<sup>12</sup> La gran variedad de rasgos cársicos desarrollados en la Isla ha capturado el interés de los especialistas en la materia (particularmente europeos). Se destacan el carso de cono, de torre y las altas cuevas calizas, entre otros rasgos menores reportados sólo en Puerto Rico. (Monroe, 1976).

<sup>13</sup> Las elevaciones máximas dentro de la región del carso alcanzan sobre los 400 metros en la escarpa desarrollada en el extremo sur; en este sector el punto más alto es de 530 metros. Las depresiones desarrolladas en el carso profundizan desde menos de 1 metro hasta más de 70 metros. Proyecciones de carso de cono se alzan 100 metros sobre el nivel del fondo de las depresiones contiguas y los mogotes alcanzan sobre los 50 metros de altura. (Monroe, 1976).

Plata. Muchos mogotes en esa zona han sido derrumbados para la obtención de relleno, elaboración de materiales de construcción (particularmente agregados) y/o el desarrollo de estructuras residenciales, comerciales, industriales y carreteras. Hacia el oeste del Río de la Plata la topografía cónica típica del carso es geomorfológicamente más compleja y se encuentra mejor conservada (Cruz-Báez, et al. 2002). Entre el Río Grande de Loíza y el Río de la Plata el patrón de mogotes aislados y algunos cinturones de colinas calizas interconectados que existía originalmente están cada vez más dispersos, fragmentados y significativamente perturbados. Ejemplos de los remanentes son los Mogotes de Santa Inés en Loíza, los Montes de Caneja localizados en el municipio de Guaynabo al norte de la Base Fuerte Buchanan y los Mogotes de Campanilla-Sabana Seca en Toa Baja, entre otros.

La Provincia del Carso Norteño se interrumpe en varios segmentos con los profundos cañones que discurren de sur a norte y que fueron formados por los ríos Guajataca, Camuy, Grande de Arecibo y Grande de Manatí (Picó, 1975). Asimismo, hacia su lado oeste la Provincia esta incompletamente dividida en dos fajas, la norte y la sur. Esta división es formada por los valles de varios tributarios de los ríos Culebrinas, Guajataca y Camuy, que en conjunto se conocen como Hondonada de Cibao (Picó, 1975). Los grupos de mogotes que componen la faja norte, Sierra de Jaicoa, Sierra de Aymamón y los Montes de Guarionex, se conoce como las Lomas de los Puertos (Picó, 1975). La faja sur de la Provincia la constituyen las Lomas de Lares.

Otros rasgos cárnicos interesantes presentes en la Provincia son las cuevas y cavernas. El Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) estima que en Puerto Rico deben existir unas 2,000 cuevas; pero sólo han documentado 207 de éstas (DRNA, 1972). Las cuevas en Puerto Rico se forman principalmente por la disolución de la roca caliza con el paso de corrientes de agua subterráneas o por el agua que se filtra desde la superficie a través de la roca caliza percolable

(Cruz-Báez, et al. 2002). Este proceso además de formar cavidades bajo la superficie terrestre forma concreciones calcáreas tales como estalactitas, estalagmitas, columnas y sorbetos, entre otros espeleotemas, que le imprimen belleza e interés a las mismas. También encontramos cuevas que fueron o son formadas por la acción del mar, éstas son conocidas como cuevas marinas y son un recurso importante para el estudio y descripción del nacimiento y desarrollo geológico de Puerto Rico.

### Región de las Calizas del Sur

La Región de las Calizas del Sur se extiende, de manera fragmentada, desde el municipio de Juana Díaz hasta Cabo Rojo y ésta no presenta los relieves topográficos que encontramos en la Provincia del Carso Norteño. Esta área exhibe rasgos cársicos menores, principalmente karren, desde Peñuelas hacia el oeste; sin embargo, y en los municipios de Peñuelas, Guayanilla y Juana Díaz se localizan lugares donde se han desarrollado cuevas o sistemas de cuevas bien reconocidos tales como: el sistema de cuevas en el Cerro Las Cuevas y el sistema de cuevas El Convento.

### Faja Caliza del Interior

Dentro de la Región Montañosa Central se encuentran áreas de calizas que no están asociadas a la Provincia del Carso Norteño o a la Región de las Calizas del Sur. Estas áreas se conocen como la Faja Caliza del Interior y son la evidencia de los depósitos de sedimentos calcáreos que ocurrieron en las partes sumergidas de Puerto Rico, en el océano, antes de ser levantadas por los movimientos tectónicos laterales. Los afloramientos de roca caliza en esta región se encuentran entre los más antiguos de Puerto Rico y presentan un buen desarrollo de fisiografía cársica. Ejemplo de estos elementos fisiográficos son: el sistema de cuevas de Aguas Buenas, Cueva La Mora en Comerío, Cañón Las

Bocas, cuevas en el Barrio Matón Arriba de Cayey, cuevas en diferentes barrios del municipio de San Germán y el espectacular ejemplo de karren con puntas de varios metros de altura en Punta Guanaquilla, Cabo Rojo.

### Islas adyacentes

De las islas adyacentes solo Isla de Mona, Islote de Monito e Isla Caja de Muertos presentan desarrollo de fisiografía cársica.

En la Isla de Mona la Formación Lirio está carsificada extensamente con cuevas, dolinas, lapiaz, farallones y simas, entre otros rasgos (Frank, et al., 1998). La mayor parte de las cuevas se encuentran en la periferia de la isla y se localizan en el área de contacto entre la Formación Lirio y Dolomita de Isla de Mona (Frank, et al., 1998). Otros rasgos cársicos importantes, además de las cuevas, son: una depresión en el medio de la isla conocida como Bajura de los Cerezos, una serie de simas llamadas las Cuevas del Centro, un valle de disolución conocido como Los Corrales de los Indios, un área en el Camino de los Cerezos que contiene gran cantidad de lapiaz y la superficie de la isla completamente cubierta por dolinas (Frank, et al., 1998). Aunque las cavernas en la Isla de Mona no se encuentran descritas en el Inventario de cuevas de Puerto Rico del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales; las mismas han sido identificadas y documentadas a través de estudios arqueológicos, geológicos y espeleológicos que se han llevado a cabo, tanto por empleados como por visitantes. En varias de estas cuevas se pueden observar en sus paredes petroglifos taínos.

El Islote de Monito es un promontorio de caliza que está siendo erosionado por las fuertes corrientes y marejadas que azotan sus precipitados acantilados (Cardona-Bonet, 1985). La isla posee dos cuevas en su superficie y otras cuevas

y abrigos rocosos se encuentran en la periferia del islote (Cardona-Bonet, 1985). También se aprecia la plataforma del islote recubierta de karren.

En la terraza caliza de Caja de Muertos, cerca del faro, se encuentran varios abrigos rocosos y una cueva de relativa extensión que incluye pasadizos, pasos a diferentes niveles y varias simas de hundimientos (DRNA, 1980), todos ellos formados por la acción del mar. Los espeleotemas en esta cueva son escasos, encontrándose solo algunas estalagmitas y estalagmitas poco definidas (DRNA, 1980). La superficie de la caliza está cubierta por karren.

## **Hidrografía**

### Hidrografía superficial

La topografía de la Isla define su hidrografía. En la Cordillera Central nacen la mayor parte de los ríos de Puerto Rico, la cual por su topografía escarpada forma cuatro vertientes principales (Picó, 1975): norte, sur, este y oeste. A través de estas vertientes es que discurren las aguas de lluvia desde las montañas hacia el mar.

La vertiente norte o vertiente Atlántica es la más importante y significativa de la Isla por la relativa abundancia de precipitación, efecto de la lluvia orográfica, y por la constancia y gran caudal de sus corrientes de agua. Los ríos en esta vertiente son largos, abundantes y de aguas tranquilas en comparación con los ríos de la vertiente sur (Picó, 1975). Los ríos que se encuentran en esta vertiente bajan de las montañas, cruzan la región del carso norteño para luego atravesar los llanos costeros. El Llano Costero Aluvial del Norte tiene áreas de elevación negativa con relación al nivel del mar, dando lugar a la formación de pantanos, ciénagas y a lagunas.

Los ríos que pertenecen a la vertiente norte y que fluyen a través de la región cársica son: el Río Guajataca, el Río Camuy, el Río Tanamá, el Río Grande de Arecibo, el Río Grande de Manatí, el Río Indio, el Río Cibuco y el Río de La Plata. El paso de algunos de estos ríos como el Guajataca, Grande de Arecibo y Grande de Manatí han esculpido impresionantes cañones a través del Carso Norteño. Los ríos en la zona cársica se comportan casi de la misma manera que los ríos en zonas volcánicas, esto principalmente por la impermeabilización de sus lechos por los depósitos de aluvión que han arrastrado de las montañas. Aún así, los ríos y otros cuerpos de agua que están en esta área, aportan a la infiltración del agua a través de conductos y canales subterráneos.

La vertiente del este definió la topografía que se observa en la costa este, cuando sus ríos cortaron en las líneas de montañas estrechos valles de forma triangular (Picó, 1975). En el interior montañoso de la costa este los cauces de los ríos están bien definidos, mientras que en el llano costero sus cuencas presentan poca profundidad, razón por la cual se desbordan con facilidad en eventos de lluvias fuertes (Picó, 1975).

La vertiente sur tiene ríos con cauces cortos debido a la proximidad de la Cordillera Central a la costa (Picó, 1975). La mayoría de los ríos y quebradas son intermitentes. Estos mantienen su flujo solamente durante la época de lluvia, o cuando ocurren eventos climatológicos anormales que resultan en lluvias intensas en la época de sequía. Aún cuando algunos ríos en la parte alta de las laderas exhiben corrientes de agua la mayor parte del tiempo, una vez el flujo avanza hacia los valles aluviales, la infiltración y evapotranspiración consumen la mayor parte del agua, secándose los cauces. Es esta pérdida de agua, junto a un clima predominantemente seco, la principal razón para que las regiones calizas al sur y suroeste de Puerto Rico tengan un desarrollo de fisiografía cársica tan pobre.

La vertiente oeste se caracteriza por un régimen lluvioso; régimen cuyo pico más alto se encuentra entre los meses de mayo a noviembre (Picó, 1975). Ésta tiene ríos de cauces largos y cuencas relativamente extensas, en comparación con los ríos de la vertiente sur. Sin embargo, son similares a los ríos del norte, porque se mantienen fluyendo durante todo el año; aunque sus caudales disminuyen considerablemente durante la época seca (diciembre a abril) (Picó, 1975).

### Hidrografía subterránea

Las regiones cársicas se caracterizan por su sistema geomorfológico e hidrológico. La naturaleza permeable de la roca caliza y su tendencia a fracturarse, aumenta la permeabilidad secundaria que permite la formación de sistemas de drenajes subterráneos configurados por una red intrincada de fisuras, cavidades y conductos de diversas dimensiones, creados por la circulación del agua. Comparado con otros sistemas hidrológicos, la naturaleza permeable del carso hace posible que la circulación del agua a través de las diversas rutas de drenaje se de en un gradiente vertical y horizontal. Debido precisamente a las fracturas y a las redes de disolución internas desarrolladas, en la zona cársica no existe un escurrimiento superficial definido ni permanente, sino que la mayor parte de la escorrentía se infiltra al subsuelo y a los acuíferos a través de las cavidades abiertas en la roca caliza.

La disolución de la caliza produce rutas alternas para el movimiento y el almacenaje del agua subterránea. El flujo del agua subterránea es rápido, convergente y turbulento en los conductos y cavidades que resultan de la disolución en las rocas solubles. En este terreno el drenaje primario es subterráneo y se nutre del agua que escurre sobre y a través de cavidades en los mogotes y de las escorrentías superficiales que recogen los sumideros. Estas zonas constituyen el sistema de recarga de mayor magnitud para el

abastecimiento de los cuerpos de agua subterráneos o acuíferos, así como su emanación en la superficie en forma de manantiales, lagunas, quebradas y ríos.

En general, la productividad de los acuíferos en la Isla es una función de los materiales que los forman los cuales, incluyen rocas calizas sedimentarias de porosidad variable, depósitos aluviales de alta porosidad y rocas de origen volcánica de porosidad limitada. Existen tres maneras o formas de medir la capacidad de un acuífero para transmitir agua: la conductividad hidráulica, la permeabilidad y la transmisividad. Los tres valores están directamente influenciados por el tamaño, forma y deposición de los minerales y las rocas que constituyen los acuíferos.

La utilización planificada de un acuífero requiere que la cantidad de agua subterránea que se extrae no exceda su recarga natural, a menos que se aumente de forma artificial la misma. Esta utilización planificada ayuda a evitar problemas tales como: reducciones significativas en los niveles de agua, intrusión de agua salada, aumento en cantidad de sólidos disueltos y detrimento en la calidad del agua por contaminación (aguas usadas de pozos sépticos domésticos o derrames industriales), entre otros.

### Región del Carso Norteño

En la región norte se encuentran los acuíferos más importantes de la Isla, especialmente los dos sistemas principales, denominados el Acuífero Superior (Acuífero Llano o Freático) y el Acuífero Inferior (Acuífero Profundo o Artesiano). A través de conductos subterráneos en la Provincia del Carso Norteño circula rápidamente mucha agua desde las áreas de recarga (sumideros, fracturas, y grietas) hasta los puntos de descarga (manantiales, ojos de agua, humedales y mar).

El Acuífero Superior de la Costa Norte es el más productivo y de mayor capacidad de almacenaje de agua en Puerto Rico. Este acuífero está formado por capas de aluvión de alta porosidad sobre rocas calizas con niveles de desarrollo de fracturas y canales de solución que varían de moderados a altos. El aluvión descansa sobre las rocas calizas en forma de abanicos en los valles costaneros de los ríos que cruzan la zona, principalmente desde Toa Baja hasta Arecibo. Rocas calizas de las formaciones Aymamón y Aguada descansan sobre barros impermeables de la Formación Cibao, que separa el Acuífero Superior del Inferior.

El espesor de este acuífero varía desde 0 a 1,640 pies, con promedios en los valles individuales de 0 a 500 pies. La porosidad del aluvión es de hasta un 15 por ciento, mientras que las rocas calizas exhiben valores de hasta 20 por ciento. Estas características promueven valores de conductividad hidráulica (K) y transmisividad (T) de 300 y 3,000 pies por día, respectivamente, entre los más elevados de la Isla. Conjuntamente con la lluvia abundante en las zonas de recarga del acuífero en las laderas de la Cordillera Central y la Zona del Carso Norteño, estas propiedades resultan en la alta productividad del acuífero. El rendimiento seguro del Acuífero Superior, estimado por el USGS, fluctúa entre 0.10 y 0.15 pies cúbicos por pie cuadrado.

El Acuífero Superior de la Provincia Norte recibe una recarga anual que varía geográficamente y a través del año desde 10 a 12 pulgadas de agua. La recarga varía con la permeabilidad de los materiales que forman el acuífero, siendo estos los factores más críticos en el mantenimiento de la elevación del manto freático o nivel de agua. En general, la recarga es mayor en las zonas donde predominan las rocas calizas en el Acuífero Superior (al sur de la antigua Carretera PR-2) que en los valles aluviales. En las zonas de rocas calizas la recarga natural es de hasta 28 pulgadas, mientras que en los valles aluviales de los ríos rara vez excede 8 pulgadas.

El Acuífero Inferior incluye capas de roca caliza de las formaciones San Sebastián, Lares y Montebello confinadas por estratos de barros y cienos de la formación Cibao. Aunque el acuífero se extiende desde la zona metropolitana de San Juan hasta Aguadilla, las zonas con mayor capacidad de producción de agua se encuentran entre Manatí y Arecibo. El flujo de agua subterránea en el Acuífero Inferior es primordialmente hacia el Norte-Noroeste, con puntos de descarga en la costa y el mar. Este acuífero es la fuente principal de agua en la Isla para usos industriales en la zona de Manatí a Barceloneta y supe abastos moderados para consumo.

La productividad del Acuífero Inferior es definida, entre otros aspectos, por la transmisividad de las rocas calizas que lo forman. Debido a que el acuífero se encuentra confinado, el espesor saturado no varía y su productividad está determinada por el producto de este espesor fijo y la conductividad hidráulica (K) intrínseca del material. Los valores de transmisividad fluctúan desde 1,000 pies cuadrados por día en áreas de recarga a un máximo de 5,000 pies cuadrados por día en el área industrial de Barceloneta.

### Región de las Calizas del Sur

Por otro lado, en la región sur no existe un acuífero, sino una serie de valles aluviales separados por ríos en segmentos principales hidráulicamente independientes. Esto quiere decir que cada valle aluvial se comporta de manera aislada, y las actividades de extracción de agua o recarga en un valle no afectan el otro directamente. En esta región sur los depósitos o estratos geológicos que forman los acuíferos costaneros desde Patillas hasta Ponce consisten principalmente de arena, grava y rocas (mezcla llamada aluvión) arrastradas por los ríos desde las montañas a través de millones de años. Estos descansan sobre rocas calizas de origen marino y rocas volcánicas, ambas de baja

porosidad. En la zona de Ponce hasta Peñuelas no existen depósitos aluviales significativos y predominan en la superficie las rocas calizas de origen marino.

El acuífero de baja permeabilidad, compuesto de la Formación Juana Díaz, denominado el acuífero de Ponce a Juana Díaz no constituye una fuente de agua confiable. Las colinas de caliza que se observan desde la Carretera Num. 2 al cruzar desde el Oeste de Ponce hasta el límite este de Guayanilla son parte de esta formación y no constituyen un acuífero productivo.

### Isla de Mona

La Isla de Mona posee un clima semi-árido con temperaturas promedios entre 80° y 90°F y recibe un promedio anual de 51 pulgadas de lluvia. Las altas temperaturas y el efecto secante de los vientos alisios constantes, provocan tasas de evapotranspiración altas. La evaporación de casi toda la lluvia que recibe la isla no permite la existencia de ríos o quebradas, aunque si se puede encontrar agua empozada luego las lluvias. Por otro lado, en Mona si existen acuíferos subterráneos, aunque éstos son escasos y su capacidad es muy limitada, debido principalmente a la geología y tamaño de la Isla.

### Islote de Monito

El Islote de Monito tiene características climáticas muy parecidas a la de Isla de Mona, pero su reducido tamaño limita más aún la cantidad de lluvia que recibe y hace su tasa de evapotranspiración aún más alta. En el islote no existen cuerpos de agua superficiales y no se tiene información de la existencia de acuíferos.

## **Ecología**

Puerto Rico está constituido por islas oceánicas (Gibson, 1990), cuyas características biogeográficas e históricas particulares han creado sus

ecosistemas y su propia dinámica de evolución. En las islas oceánicas, los ecosistemas presentes han evolucionado en aislamiento y espacio reducido, por lo que los cambios en la biodiversidad ocurren en escalas de miles a millones de años (Lean, 2004). En general, las islas han desarrollado floras y faunas silvestres muy especializadas. Estos altos niveles de especialización están asociados a la abundancia de especies endémicas, así como a fenómenos como el gigantismo, asociaciones mutualistas, incapacidad para volar y plantas dioicas (UNEP, 2004). Asimismo, los ecosistemas isleños presentan una alta dependencia de las aguas oceánicas circundantes, diversidad genética restringida, capacidad competitiva reducida y poblaciones relativamente pequeñas o concentradas en áreas pequeñas y específicas; evidenciándose estos fenómenos con la gran cantidad de especies endémicas que se encuentran en peligro de extinción en muchas islas (UNEP, 2004). Todo esto convierte a estos ecosistemas en entidades altamente frágiles y vulnerables ante perturbaciones físicas (explotación de recursos, contaminación) y biológicas (especies exóticas) causadas por las actividades humanas que ocurren en escalas de meses a decenas de años (Lean, 2004). Esta fragilidad se acrecienta con la vulnerabilidad que tiene las islas y sus ecosistemas ante los desastres naturales (huracanes, sequías, inundaciones, maremotos); circunstancias que cada vez ocurren con mayor frecuencia y con más intensidad a consecuencia del aumento en el calentamiento de la Tierra, entre otras razones (Fisher, 2004).

Por consiguiente, los ecosistemas presentes en las áreas cárnicas de Puerto Rico son únicos y especialmente importantes de proteger, ya que no sólo son resultado de la evolución de islas oceánicas, sino que también responde a su particular evolución por su origen geológico y formación por acciones hidrogeológicas.

Tanto las formaciones terrestres, como aspectos relacionados a las variaciones en los regímenes hidrológicos que se manifiestan, juegan roles fundamentales en

ello, relacionándose a la diversidad de ecosistemas que han sido identificados bajo distintos sistemas de clasificaciones ecológicas (e.g. tres zonas de vidas sensu Holdridge [Ewell y Whitmore, 1973]; dieciocho zonas geoclimáticas sensu Figueroa [Lugo, et al., 2001]).

Los ecosistemas presentes en el carso se han desarrollado, tanto en condiciones puramente terrestres (superficiales o subterráneas), como en dinámicas de naturaleza acuática, estas últimas bajo distintas influencias químicas (e.g. salinidades). Estos ecosistemas cársicos abarcan desde sistemas marinos como playas de rasgos variables; humedales leñosos o herbáceos en los llanos costeros, estuarinos o palustres; sistemas cavernosos complejos, algunos de ellos asociados a cuerpos de agua; y bosques, arboledas, matorrales o praderas de diversos perfiles fisionómicos, biodiversidad (florística y faunística), tanto de origen nativo, como introducidos por influencias antropogénicas, cubriendo la superficie de la alta variedad de rasgos geomorfológicos que caracterizan la mayor parte del ámbito terrestre de nuestra zona cársica.

Los inventarios biológicos realizados en el carso reflejan que los grados de cobertura boscosa en las zonas interiores y de topografía accidentada, particularmente en los sectores que no han tenido una considerable perturbación previa, son amplios y densos y sostienen un grado significativo y valioso de biodiversidad. En la actualidad veintiocho (28) especies de la fauna y veintisiete (27) especies de la flora que habitan en la región cársica de Puerto Rico están oficialmente designadas como en peligro de extinción o vulnerables (Tabla 2). Además, más de un centenar de especies, principalmente de flora, en las *áreas restringidas* son consideradas como elementos críticos por su distribución limitada (Tablas 3, 4, 5 y 6). También se observa como especies nativas predominan sobre las exóticas.

Las *áreas restringidas* que se recomiendan en este informe son terrenos cársicos que sirven de hábitat a una parte de nuestra biodiversidad de particular valor patrimonial, incluidas las áreas identificadas por su alta diversidad de elementos críticos. Consisten fundamentalmente de extensiones de terrenos firmes, compuestos por distintos rasgos geomorfológicos, y por distintos patrones de biodiversidad, aunque predomina sobre sus superficies vastas extensiones de bosques o arboledas en las zonas húmedas o muy húmedas del norte central y del noroeste. Otras zonas cársicas forestadas recomendadas por su rol como hábitats de relevancia para componentes de la biodiversidad patrimonial en estado crítico, ubican en la zona de vida seca del sudoeste de la Isla. Algunos sistemas cársicos subterráneos, entre ellos: cuevas, cavernas, sumideros y tramos de ríos subterráneos, forman, de igual manera, parte integral de las zonas incluidas en el informe, entre éstos: el sistema de Cuevas de Aguas Buenas y Cerro Las Cuevas en Juana Díaz. Estos rasgos cársicos subterráneos componen ecosistemas específicos con su biodiversidad particular.

Entre los beneficios de este trabajo, particularmente considerando su enfoque regional, se destaca su utilidad como mecanismo para conectar terrenos protegidos que forman parte de las áreas naturales protegidas por el DRNA. La presencia y ubicación de los bosques de Guajataca, Río Abajo, Cambalache, y Vega en la zona cársica del norte configura una franja de terrenos designados como Bosques Estatales que puede utilizarse como punto de partida para conectar sistemas con prioridad de conservación que coincidan dentro de esta zona, conforme se documenta en este estudio. Los Bosques Estatales por ser terrenos protegidos por varias décadas, sirven como fuente de semillas, áreas de recarga de los acuíferos, refugios de vida silvestre y de la biodiversidad en general característica de esta región.

La expansión de estas áreas naturales protegidas puede lograrse con el compromiso de fondos para la compra de terrenos o con asignaciones

presupuestarias que permitan los procesos de adquisición. Otro mecanismo que se puede considerar es la de incentivar a los dueños de terrenos en estas áreas a que participen de aquellas estrategias de conservación y manejo de sus terrenos a cambio de recibir un beneficio por esta práctica. Además, la coincidencia de ubicación entre los Bosques Estatales en esta región norte-noroeste y los terrenos identificados en el estudio facilitará al DRNA solicitar fondos por medio de diferentes mecanismos para ampliar el sistema de Bosques Estatales en dicha región.

Aunque actualmente se llevan a cabo diferentes gestiones por agencias del gobierno (estatal y federal) y por entidades no gubernamentales para la proteger el Carso de Puerto Rico mediante la adquisición de terrenos en áreas como el Río Encantado y Río Tanama; la mitigación por la construcción de carreteras con el traspaso de terrenos en áreas aledañas a bosques estatales localizados en área cársica tales como Río Abajo, Guajataca, Vega y Cambalache; y la reforestación y el manejo de tierras privadas para su conservación.

### Flora

Los bosques cársicos, tanto los de las zonas de vida húmeda o muy húmeda, como en los de la zona seca, se caracterizan por varios aspectos principales: doseles de altura bastante uniforme con pocos árboles emergentes y con poca diferencia de altura por sobre el estrato arbóreo subemergente; los árboles de gran tamaño son escasos y suelen estar presentes en puntos en donde existe mayor acumulación de suelo y menores afloraciones rocosas; bajos números de especies arbóreas dominantes y relativa alta diversidad de especies de algún grado de rareza (Lugo, 1991); alta densidad de árboles de poco diámetro y follajes predominantemente escleromorfos, con altas proporciones de especies arborescentes caducifolias, aproximadamente hasta un 25% de estas especies,

con un porcentaje aún mayor como caducifolias facultativas en condiciones de sequía extrema (Lugo, et al., 2001).

El proceso de pérdida foliar en estos bosques, primordialmente en sus estratos de mayor altura, se manifiesta durante las estaciones de sequía que suelen regir en la primera mitad del año en la Isla. Por lo general, se le adjudica este efecto a las rápidas escorrentías que provoca la percolable geología cársica subyacente, junto al bajo nivel de almacenamiento hídrico de los suelos (Lugo, et al. 2001) que, aunque presentes sobre ciertos microhábitats, por lo general suelen no ser profundos y exhibir frecuentes afloraciones rocosas. El bajo índice de precipitación pluvial del sudoeste de Puerto Rico, cayos e islas en la costa asociada a dicha región, agudiza aún más el mencionado efecto de caducifoliedad en sus coberturas vegetales arbóreas sobre las zonas calizas cársicas allí presentes.

El número de especies arbóreas por unidad de área ha sido reportado como uniforme en todos los bosques de la Isla (Lugo, 1991), lo que indica que no deben haber diferencias muy significativas, en este aspecto, entre distintas regiones del carso en nuestro País, tanto del norte como del sur. La riqueza de especies arbóreas que se ha encontrado en promedio, es de aproximadamente 44 especies por cada 1,000 individuos censados, lo cual se considera relativamente alto; no obstante, este número varía en términos absolutos entre distintos puntos. Es relevante puntualizar que el contaje mayor de especies de árboles por 0.1 hectárea se encontró en un bosque cársico al norte del País (Lugo, et al, 2001). No obstante, estos datos reseñados excluyen otras formas de crecimiento vegetal: lianas, tanto leñosas como herbáceas, que son evidentes en el interior de los bosques cársicos de nuestra zona norte, al igual que varias especies nativas de plantas epífitas, como helechos, bromelias, y anturios, entre otras; en el carso del sur también se observa la presencia de plantas epífitas, pero con menor diversidad de especies. Estas especies epífitas viven adheridas

a los troncos de los árboles o arbustos o sobre la hojarasca en descomposición retenida sobre los afloramientos rocosos que configuran promontorios sobre el piso o escalones en las laderas de los rasgos geomorfológicos emergentes. El sotobosque en los ecosistemas forestados del carso se mantiene bastante despejado de enredaderas y especies arbustivas invasoras, dependiendo de cuan intervenido adversamente haya estado, ya sea por actividades que hayan generado el corte, el entresaque o la quema de la vegetación espontánea presente por varias décadas o lustros.

La superficie forestada en las zonas cársicas, incluidas las áreas recomendadas en este informe, manifiesta variaciones fisionómicas a través de gradientes de estructura vegetal, apariencia sobre el perfil del suelo o sustrato, y composición de especies. Estas variaciones parecen responder al grado de perturbación o alteración histórica por intervención humana - mencionada previamente - y a otras variables naturales a que han estado expuestos, según se documenta en estudios disponibles (Chinea, 1980).

La variedad de gradientes ambientales y topográficos de las regiones cársicas estudiadas incluyen: los gradientes de lluvia de este (mayor lluvia) a oeste (menor lluvia), por los patrones orográficos de los vientos alisios; y gradientes de norte a sur, producto de la topografía, con índices de precipitación mayor en el norte, según la elevación. Aspectos fisionómicos que han sido relacionados con mayores regímenes de lluvia incluyen una mayor altura de los árboles y un menor porcentaje de especies con hojas esclerófilas.

El grado de exposición a los vientos también parece jugar un rol regulador en este aspecto, estableciendo dos gradientes en la zona norte, particularmente sobre el cinturón cársico compuesto principalmente por los rasgos geomorfológicos emergentes conocidos como mogotes. Una mayor exposición al viento tiende a caracterizar las laderas norestes y menor en las sudoestes; por

su parte, las cimas son impactadas por vientos más fuertes que las faldas de estos mogotes.

Un tercer gradiente identificado lo es la disponibilidad de suelo, entre los suelos profundos y de mayor fertilidad asociados a los valles intermogotes o abras, condiciones edáficas intermedias en las laderas, y los suelos de poca profundidad, pedregosos y de menor fertilidad en las cimas.

Distintos autores han generado varios sistemas de ordenación de la vegetación sobre regiones cársicas con aplicación en Puerto Rico (Beard, 1944; 1955; China, 1980; Álvarez, et al., 1983; Dugger, et al., 1979), tanto para todo nuestro carso, como para una parte de éste (e.g., la zona muy húmeda subtropical del carso en Utuado, la zona seca subtropical del sudoeste, la franja cársica del norte central). Estos trabajos se han basado en criterios como, los gradientes que ya han sido expuestos en párrafos anteriores, la fisionomía de la vegetación, la edad del bosque (cuando se conoce), y las posiciones topográficas (e.g. valles, pendientes, cimas). Estos sistemas de ordenación y clasificación, algunos de ellos distintos entre sí, reconocen variaciones en los patrones de organización de nuestra biodiversidad vegetal cársica (en estructura y composición biológica) mediante distintos tipos de bosques, arboledas, matorrales, etc.; podemos hacer referencia a estos tipos de vegetación cársica como asociaciones vegetales, en las cuales existen comunidades faunísticas particulares asociadas.

Estas asociaciones varían fisionómicamente entre sí, principalmente en la complejidad estructural, la altura máxima de la vegetación, la composición de tamaños y tipos de hojas, los porcentos de especies caducifolias, etc. Sus florísticas varían, en mayor o menor grado, tanto en composición de especies, como en los grados de dominancia de algunas de las especies en común, cuando aplica, o en la fisionomía comparada de dichas especies. Hay especies cuya

presencia suele detectarse en una sola de estas asociaciones vegetales, mientras otras pueden existir de manera espontánea en más de un tipo de asociación; la frecuencia o grado de dominancia de cada especie varía a través de cada asociación con la cual se le relaciona en el caso de aquellas especies de mayor grado de plasticidad ecológica.

Los estudios disponibles identifican especies arbóreas del carso que también existen en la geología volcánica, u otras que tanto existen en la zona cársica húmeda como en otras geologías calizas (no cársicas) de clima seco o en condiciones fisiográficas distintas como lo son el carso costero en comparación al carso montañoso (Chinea, 1980). El grado de rareza de estas especies es determinado por la amplitud de su distribución, tanto en la Isla, como globalmente.

Contamos con algunos estimados de la riqueza de especies que componen la biodiversidad vegetal de distintas zonas del carso en Puerto Rico, tanto en la zona de vida muy húmeda subtropical (principalmente en el área ocupada por el Bosque Estatal de Río Abajo) como en la húmeda tropical (la mayor parte del carso restante); hasta 1,030 especies de plantas vasculares se han documentado sobre el carso de Río Abajo en Utuado con cerca de un 85% de dicha diversidad constituida por especies de plantas nativas (Acevedo Rodríguez y Axelrod, 1999). Una parte de estas especies habitan también el carso restante en la Isla, de topografía emergente accidentada. Cerca de un 23% de las especies arbóreas endémicas a Puerto Rico habitan en el carso muy húmedo mientras que un 16% se observa en el carso húmedo de mayor extensión de superficie (Figueroa Colón, 1995). Entre las familias botánicas más representadas en las asociaciones vegetales del carso muy húmedo y en el húmedo se encuentran Leguminosae, Myrtaceae, Rubiaceae, Lauraceae y Euphorbiaceae (Lugo, et al., 2001) y algunas de sus especies arbóreas típicas, comunes o raras, incluyen:

<b>NOMBRE CIENTÍFICO</b>	<b>NOMBRE COMÚN</b>
<i>Aiphanes acanthophylla</i>	palma de coyor
<i>Gaussia attenuata</i>	palma de lluvia
<i>Coccoloba diversifolia</i>	uvilla
<i>Coccoloba pubescens</i>	moralón
<i>Licaria salicifolia</i>	canelilla
<i>Bucida buceras</i>	úcar
<i>Bursera simaruba</i>	almácigo
<i>Cedrela odorata</i>	cedro hembra
<i>Hyeronima clusioides</i>	cedro macho
<i>Sapium laurocerasus</i>	tabaiba
<i>Thouinia striata</i>	ceboruquillo
<i>Polygala cowellii</i>	árbol de violeta
<i>Thespesia grandiflora</i>	maga
<i>Ochroma pyramidale</i>	balsa
<i>Clusia rosea</i>	cupey
<i>Terazygia eleagnoides</i>	verdiseco
<i>Sideroxylon salicifolia</i>	tortugo amarillo
<i>Guettrada scabra</i>	cucubano
<i>Terebria resinosa</i>	aquilón
<i>Coccothrinax alta</i>	palma de abanico
<i>Gymnanthes lucida</i>	yaití
<i>Thrinax morisii</i>	palma de petate

Aproximadamente unas 120 especies de plantas vasculares (de distintas morfologías o formas de crecimiento) presentes espontáneamente en las áreas de fisiografía cársica emergente, tanto en el norte húmedo como en el muy húmedo, son consideradas elementos críticos conforme el Banco de Datos para la Conservación del Programa de Patrimonio Natural del DRNA. Por su parte, el

área caliza del sur de Puerto Rico, parte de ella de naturaleza cársica, alberga aproximadamente 40 especies de plantas vasculares igualmente considerados elementos críticos; un número bajo de éstas habitan también en áreas cársicas húmedas o muy húmedas del norte central o el noroccidente de la Isla.

Del uso de dicha herramienta de planificación hemos derivado uno de los criterios en el análisis aplicado, que nos ha permitido distinguir aquellas regiones del carso que deben ser incluidas en este informe, por constituir zonas, aún no protegidas, de mayor biodiversidad sensitiva. Estas especies son consideradas como elementos críticos por su rareza y escasez, endemismo de distribución restringida, o por su merma debido a aspectos naturales (aspectos de su biología o ecología) o antropogénicos como por ejemplo la destrucción del hábitat por el desarrollo urbano o la sobrecolección de la especies por sus usos de valor económico, hortícola o cultural.

## Fauna

### Aves

Puerto Rico sostiene una avifauna de aproximadamente 312 especies (Raffaele, et al., 1998); en las áreas cársicas, se pueden distinguir, visual y auditivamente, unas 223 especies dentro de 46 familias (Lugo, et al., 2001). De todas las especies en Puerto Rico 17 son especies endémicas (Raffaele, et al., 1998; Oberle, 2002 y AOU, 2008), 96 son especies residentes, 163 son especies migratorias y 36 son especies exóticas introducidas (Raffaele, et al., 1998). Las especies endémicas de Puerto Rico son: pájaro bobo mayor (*Saurothera vieillotii*), cotorra de Puerto Rico (*Amazona vittata*), múcaro de Puerto Rico (*Megascops nudipes*), guabairo pequeño de Puerto Rico (*Caprimulgus noctitherus*), colibrí verde (*Anthracothorax viridis*), zumbadorcito de Puerto Rico (*Chlorostilbon maugaeus*), san pedrito (*Todus mexicanus*), carpintero de Puerto Rico

(*Melanerpes portoricensis*), juí de Puerto Rico (*Myiarchus antillarum*), bien-te-veo (*Vireo latimeri*), reinita mariposera (*Dendroica adelaidae*), reinita de bosque enano (*Dendroica angelae*), llorosa (*Nesospingus specularis*), reina mora (*Spindalis portoricensis*), come ñame de Puerto Rico (*Loxigilla portoricensis*), bobito (*Contopus portoricensis*) y mariquita (*Agelaius xanthomus*) (Raffaele, et al., 1998; Oberle, 2002 y AOU, 2008), siendo la reinita de bosque enano la única que no se ha observado en ninguna área cársica de Puerto Rico (Lugo, et al., 2001). Asimismo, nuestra avifauna cuenta con 13 subespecies endémicas, las cuales son: zumbador dorado (*Anthracothorax dominicus aurulentus*), paloma sabanera (*Patagioenas inornata wetmorei*), clérigo (*Tyrannus caudifasciatus taylori*) (Oberle, 2002 y Peterson, 2005), rolita de Puerto Rico (*Columbina passerina portoricensis*), rolita de Mona (*Columbina passerina exigua*), mariquita de Puerto Rico (*Agelaius xanthomus xanthomus*), mariquita de Mona (*Agelaius xanthomus monensis*), mozambique (*Quiscalus niger brachypterus*), guaraguo de bosque (*Buteo platypterus brunnescens*), falcón de sierra (*Accipiter striatus venator*), múcaro de sabana (*Asio flammeus portoricensis*), calandria (*Icterus dominicensis portoricensis*) (Oberle, 2002) y reinita común (*Coereba flaveola portoricensis*)<sup>14</sup>; las cuales han sido observadas en las áreas de carso (Lugo, et al., 2001).

Por su parte, se han identificado 11 especies de aves en peligro de extinción (Tabla 2) que dependen de nuestras regiones calizas; gran parte de estas especies habitan o han habitado en el carso del norte o del sur, entre ellas: la paloma sabanera, el guabairo y la cotorra puertorriqueña, especies que fueron comunes en el pasado como parte de la ornitofauna de nuestras regiones cársicas y en otras regiones calizas de la Isla.

---

<sup>14</sup> [Animal Diversity Web](http://www.animaldiversity.ummz.umich.edu), University of Michigan – Museum of Zoology  
([www.animaldiversity.ummz.umich.edu](http://www.animaldiversity.ummz.umich.edu))

Los bosques o arboledas que recubren los mogotes y sus zonas inmediatas adyacentes o cercanas en el norte, y los bosques, arboledas o matorrales sobre los sustratos calizos de tiempo geológico más joven en el sur (parte de ellos de naturaleza cársica) ofrecen hábitat de descanso, reproducción o alimentación para este componente de la vida silvestre, del cual parte ha sido desplazado por el aumento paulatino de la expansión urbana.

Las aves son componentes funcionales importantes en los ecosistemas que habitan, por lo que se consideran especie clave (Joglar, 2005). Esto se evidencia con la participación de las aves en la propagación de plantas mediante la dispersión de semillas y la polinización de flores, y en el control de plagas o poblaciones cuando actúan como depredadores de insectos y otros animales; acciones que de no darse pondrían en peligro las especies dependientes o a todo el ecosistema. Sin embargo, las mismas son amenazadas por la destrucción de habitáculos y la presencia de aves exóticas, entre otros. Las aves requieren de diferentes tipos de habitáculos según la actividad que necesitan llevar a cabo: alimentarse, dormir, aparearse, crías polluelos, etc., por lo que la destrucción de áreas naturales puede afectar su supervivencia y el rol que ocupan en ese lugar. Por otro lado, la presencia de especies exóticas en estado silvestre supone otras presiones para las aves nativas, tales como: el desplazamiento por la competencia por espacio y fuentes de alimento, transmisión o propagación de enfermedades, depredación de especies de fauna nativa, parasitismo y/o el entrecruce con especies nativas (DRNA, 1999).

### Herpetofauna

En Puerto Rico existen 25 especies de anfibios, de los cuales 19 son nativos y 6 son introducidos (Joglar, 2005 y DRNA, 2007); además de 55 especies de reptiles, entre las que se cuentan 51 nativas y 4 exóticas (Joglar, 2005). Cerca

de 51 especies de anfibios y reptiles habitan en áreas cárnicas (Lugo, et al., 2001) y entre éstos existen 12 especies legalmente protegidas (Tabla 2).

Las especies de anfibios confrontan problemas de supervivencia que se reflejan con la disminución de las poblaciones, designación de especies como vulnerables o en peligro de extinción e informes de especies como posiblemente extintas. Sin embargo, la disminución de las poblaciones de anfibios es un escenario que se observa también en otras partes del mundo. Se ha encontrado que poblaciones de anfibios se ven negativamente afectadas por la presencia de hongos quitridiomicetos en la piel (Joglar, 2005). En Puerto Rico se descubrió la presencia de uno de estos mortales hongos, el *Batrachochytrium dendrobatidis*, en la piel de anfibios desde el 1976 (Joglar, 2005). Asimismo, se ha observado que por los anfibios poseer una piel permeable a gases y líquidos, éstos reaccionan rápidamente a cambios en su medioambiente; actuando como bioindicadores sobre el estado de salud del ambiente en el que se encuentran. Los cambios climáticos, como cambios en los patrones de precipitación y cambios en las temperaturas son otras de las razones que puedan estar afectando adversamente a las poblaciones de anfibios.

Por otro lado, las poblaciones de reptiles son diversas y abundan, lo que les hace ser un importante segmento en las redes alimentarias, aunque las mismas se encuentran amenazadas por variados factores. Uno de los factores que afectan a los reptiles en Puerto Rico, así como a la flora y la fauna en general, lo es la destrucción, modificación y fragmentación de hábitáculos (Joglar, 2005). Estas acciones representan cambios radicales para las poblaciones que habitan en los lugares en que se llevan a cabo y algunas de sus consecuencias pueden ser la destrucción, total o parcial, de poblaciones de plantas y animales, cambios en la diversidad de especies y en la abundancia de éstas, cambios en su comportamiento y capacidad de supervivencia, y ocupación del área por especies exóticas, entre otras. Algunas especies de reptiles se deben enfrentar a otras

situaciones como el miedo u odio que manifiestan algunas personas cuando les ven (Joglar, 2005). Un ejemplo de esta situación se observa con las culebras, las cuales son atacadas o matadas por el temor de las personas a ser mordidas y envenenadas por ellas; reflejo del desconocimiento del comportamiento y biología de nuestras especies. Por otro lado, hay especies de reptiles que son capturados de manera ilegal con propósitos comerciales variados, tales como: vender para consumo la carne o huevos, usar partes con fines “medicinales” o disponer de ellos para la venta en el negocio de mascotas, entre otros.

Otro factor que perturba de diferentes maneras a los anfibios y reptiles y a sus respectivas poblaciones son las especies exóticas que son introducidas a la Isla. Tanto los anfibios como los reptiles exóticos compiten con los nativos por espacio y alimento; además, de que pueden ser depredadores de nuestras especies y transmitirle enfermedades para las cuales no tienen defensas.

## Mamíferos

El ambiente protegido y estable en las cavernas, refugios y conductos subterráneos, generados por la continua disolución del sustrato calizo en las regiones cársicas, provee abrigo para otro grupo faunístico, los mamíferos. En Puerto Rico la única representación que queda de los mamíferos terrestre nativos son los murciélagos. De las trece (13) especies de murciélagos solamente uno es endémico (Rodríguez Durán, 1987) y cerca de 10 especies de murciélagos dependen de las cuevas o cavernas ubicadas en el carso para sobrevivir (Tabla 7).

Los murciélagos son los únicos mamíferos con capacidad de volar y todas las especies que habitan en la Isla son capaces de navegar utilizando el sonido (microquirópteros). Estos mamíferos son útiles en el control de insectos, polinización de flores y la dispersión de semillas, entre otras cosas; sin embargo, están siendo gravemente amenazados por la destrucción de cuevas y cavernas

con la explotación de la roca caliza, así como por la deforestación, causante de la disminución de sus fuentes alimentarias.

### Invertebrados

Otro grupo que se ve beneficiado por la geomorfología subterránea que se desarrolla en las áreas cársticas son los invertebrados troglobitas, así como los troglófilos. Escasos estudios se han llevado a cabo con el propósito de identificar las especies de invertebrados en los ambientes subterráneos de Puerto Rico; pero con los que se han realizado se han identificado unas 151 especies de las cuales 8 son troglobitas (Lugo, et al., 2001). De las cuevas que se utilizaron para identificar los invertebrados resalta por su riqueza en especies la Cueva Los Chorros en Arecibo y su protección es altamente recomendada. Dos especies de invertebrados trogloditas y otro de la superficie se encuentran actualmente protegidos por ley (Tabla 2).

### Fauna Acuática

La mayor parte de la macrofauna acuática de Puerto Rico se encuentra presente de una forma u otra en las regiones cársticas de Puerto Rico. Se han identificado más de cien especies de peces de agua dulce para Puerto Rico, así como 24 especies de crustáceos (Lugo, et al. 2001). Las especies piscícolas nativas que están en nuestros ríos son: anguila (*Anguilla rostrata*), dajao (*Agonostomus monticola*), lisa morón (*Joturus pichardi*), morón (*Eleotris pisonis*), guavina (*Gobiomorus dormitor*) y guavina morón (*Guavina guavina*).

Estas especies se vieron afectadas por los cambios en los aspectos físicos y químicos del ecosistema acuático cuando desde el 1908 se comenzaron a construir embalses en nuestra Isla. Los peces nativos, que viven en ríos, no pudieron adaptarse a este nuevo hábitat; ya que como parte de su ciclo de vida

éstos necesitan migrar al mar o al estuario para reproducirse, convirtiéndose las represas en sus obstáculos. Ante esta situación y temiendo que la ictiofauna desapareciera, el Departamento de Agricultura, introdujo especies exóticas que pudiesen existir en el nuevo ecosistema acuático. En la actualidad se construyen “escaleras para peces” en las represas del país, permitiendo la migración y tránsito de los peces (nativos y exóticos) a través de las corrientes.

Entre los crustáceos más conocidos que se encuentran en las áreas cársicas están el camarón gigante de río (*Macrobrachium carcinus*) y la buruquena (*Epilobocera sinuatifrons*), ambas comúnmente capturadas para consumo.

Todas estas especies se han visto afectadas de una u otra manera por la construcción de embalses y la introducción de exóticos, pero estos no son los únicos. Entre otros de los problemas que les afectan están la canalización de ríos y quebradas, aumento en la cantidad de sólidos presentes en el agua a causa de la erosión, contaminación de las aguas con químicos industriales o por la descarga de aguas crudas, la pesca con artes de pesca poco selectivos y la sobrepesca.

## **Valores estéticos, sociales y culturales**

A través de la historia la humanidad ha utilizado diferentes recursos de la naturaleza para procurarse alimento, refugio, ropa, medicina y comodidad. Asimismo, estos recursos le proveían la oportunidad de expresar valores estéticos, culturales, sociales o espirituales.

Los valores estéticos, así como los espirituales, constituyen la respuesta al conocimiento del entorno y de los atributos particulares, naturales y culturales, que allí se encuentran. Pueden estar asociados a elementos visuales como no-visuales y alcanzar respuestas emocionales o cualquier otro elemento que posea

un fuerte impacto en el pensamiento humano, en sus sentimientos, actitudes o acciones.

Por otra parte, los valores culturales y sociales se componen de todo el quehacer humano e incluye la relación de los individuos entre sí y de los individuos con la naturaleza. Estos valores definen el tipo de relaciones económicas, políticas, personales y espirituales de toda una sociedad. Además de identificar la interrelación entre pasado, el presente y el futuro de una sociedad dentro de su contexto espacio-temporal.

La conservación de estos valores es importante para procurarnos un desarrollo sostenible con beneficios presentes y futuros como la observación de la naturaleza, esparcimiento, desarrollo económico, reafirmación de la identidad social, disfrute y desarrollo espiritual y artístico; sin olvidar que junto con ellos se protegen los espacios naturales abiertos y los ecosistemas donde se encuentran.

## ***Metodología***

Este estudio se llevó a cabo en dos etapas, pero para entrelazar y darle continuidad a la información y datos recopilados se utilizaron los Sistemas de Información Geográfica (GIS, por sus siglas en inglés). Esta técnica permite almacenar, añadir, actualizar y analizar la información recopilada, así como digitalizar diferentes capas de información de una manera más objetiva. El GIS permite guardar información espacial en la computadora de una manera organizada y estructurada, con el potencial de ampliar el banco de datos según los temas de interés. Como parte de los resultados podemos crear escenarios y establecer alternativas de conservación, manejo y calificación, entre otros.

En la primera etapa, realizada con la colaboración de diferentes entidades gubernamentales (estatales y federales), se recopiló la información y documentación que estuvo disponible hasta el 2005 para caracterizar la región cársica con el propósito de formar un banco de datos científicamente confiable. En esta primera etapa del estudio el modelo GIS estaba dirigido a identificar y definir posibles áreas de protección en el carso.

Los tres aspectos identificados en la Ley Núm. 292, *supra*, por su importancia y función en el terreno cársico, se utilizaron para crear las principales capas del modelo. Estas categorías primarias fueron los datos geológicos, hidrológicos y bióticos. Cada categoría primaria se subdividió en los criterios de aplicación (subcategorías), que en efecto constituyeron los datos de información seleccionados para construir el modelo inicial de GIS (Tabla 8).

La aplicación del modelo se efectuó sobre toda las regiones cársicas desarrolladas sobre roca caliza de la Isla de Puerto Rico, utilizando como mapa base: *Map Showing Limestone Areas and Karst Landforms in Puerto Rico* (Monroe, 1976). La información disponible para cada criterio constituyó una capa de información. La superposición de cada criterio permitió distinguir unas áreas sobre otras, descartando aquellos sectores que no se intersecaban.

La demarcación resultante representaba aquellos sectores que cumplían con la totalidad de las categorías y aquellos que sólo cumplían con la combinación de dos de las tres categorías. Sin embargo, para que este producto fuese representativo y útil para identificar áreas en el carso que por su importancia y su vulnerabilidad ameritaban recibir algún grado de protección para su conservación se requirió, además, restar la huella urbana correspondiente a las zonas ya impactadas por desarrollos de diversa índole; así como de aquellas áreas que ya han recibido algún grado de protección, tales como: donaciones de terreno al DRNA, áreas naturales protegidas, etc.

Inicialmente, la huella urbana considerada consistió en la capa de información de la Junta de Planificación (JP) con datos para el año 2000. Sin embargo, una evaluación de las imágenes de satélite Ikonos del año 2002<sup>15</sup> sobreimpuestas en la delimitación de la región del carso norteño, reveló que el alcance de la huella urbana sobre el terreno excedía los límites plasmados en el mapa. Este ejercicio hizo evidente la necesidad de ajustar la delimitación de este parámetro, ya que la información previamente considerada no era representativa del impacto genuino e irreversible que estaba recibiendo la zona cársica.

A tales efectos se refinó el mapa, incluyendo además: la delimitación de la zona de expansión urbana proyectada para los municipios que ubican dentro del carso

---

<sup>15</sup> Las imágenes de satélite permiten apreciar el estado de la superficie de la tierra en términos de cobertura vegetal y asentamientos urbanos, entre otra información.

norteño; y la ubicación de las diversas consultas de ubicación registradas en la JP hasta enero 2002<sup>16</sup>, para así tener una apreciación del impacto potencial en un futuro cercano, que podría recibir la zona del carso norteño. Con esta información se produjo el Mapa 2.

En el Mapa 2 se delimitaron aquellos sectores dentro del carso que mostraban condiciones de poco o ningún impacto actual o potencial y que constituyeron las áreas de importancia y que por su vulnerabilidad ameritaban algún grado de protección para su conservación. Estas áreas prioritarias fueron denominadas como *áreas restringidas*, debido a que por su forma y por su función las condiciones naturales del terreno no deben ser alteradas o destruidas por acciones humanas.

Así, la distribución de las *áreas restringidas* recomendadas para aplicarles la restricción de actividades de extracción de materiales de la corteza terrestre para fines comerciales, quedó fragmentada y dispersa en la zona del carso.

Para el 2007, comenzó la segunda etapa del estudio, con la designación de un Comité de Trabajo con biólogos, geólogos, geógrafos y planificadores del DRNA y la JCA. Este comité tenía el propósito de evaluar los criterios que se utilizaron en la primera etapa del estudio, evaluar nuevas áreas recomendadas por CDK y personal del DRNA para ser incorporadas y revisar el Mapa 2 haciendo uso de los nuevos criterios y la información técnica disponible.

En la evaluación de los criterios se determinó que había otras características que debían tomarse en consideración y que no necesariamente todos los criterios de

---

<sup>16</sup> Se aclara que se incluyeron todas las consultas contenidas en el registro, sin distinguir entre las aprobadas, las denegadas o aquellas dejadas en suspenso o en evaluación. El mapa 1, al que se refiere este escrito fue revisado en abril de 2005.

una categoría debían mostrarse, esto para asegurar que se estuviese representando adecuadamente el universo de carso de Puerto Rico.

En la categoría de geología se determinó añadir tres criterios adicionales: la edad u origen de lentes calizos, la delimitación de las áreas cársicas según la JP<sup>17</sup>, y la presencia de rasgos cársicos de particular rareza tales como: zanjones, chimeneas, manantiales (“blue holes”), karren, cuevas marinas, etc. En la categoría de hidrología se expandió el tercer criterio para que incluyera no sólo los manantiales sino también los ríos, quebradas y áreas de escorrentías asociadas a las formaciones geológicas sobre las que fomentan el efecto de carsificación; además de añadirse como criterio las áreas con valor hidrológico según identificadas en el Plan Integral de Recursos de Agua de Puerto Rico (2008). Por otro lado, se determinó que la región de las calizas al sur de Puerto Rico debía ser evaluada bajo los mismos parámetros hidrológicos con los que se evaluaba el resto de la Isla, independientemente de su clima predominantemente seco. Con respecto a la categoría biológica se actualizaron las áreas con prioridad de conservación, según definidas por el Programa de Patrimonio Natural del DRNA.

Asimismo, utilizando el auxilio de leyes que suplementan los objetivos de la Ley Núm. 292, *supra*, tales como la Ley Núm. 111 de 12 de julio de 1985, según enmendada y conocida como “Ley para la protección y conservación de cuevas, cavernas o sumideros de Puerto Rico” y la Ley Núm. 112 de 20 de julio de 1988, según enmendada y conocida como “Ley para la protección del patrimonio

---

<sup>17</sup> Según la Oficina de Sistemas de Información de la JP, para el desarrollo de este producto se llevaron a cabo los siguientes pasos: 1. Se tomó como referencia las fotos aéreas del 2004 del USDA; 2. Se identificó la huella de las edificaciones, según la capa de información del CRIM del 2000, para eliminar lo que estaba edificado; 3. Se delimitó el área mediante los límites legales de las propiedades de la capa de información de límites parcelarios del CRIM; 4. Se incluyeron las áreas con geología cársica que no tuvieran construcciones ni proyectos aprobados por la JP; 5. Se utilizó como referencia las capas de información del borrador del Plan de Usos de Terrenos de Puerto Rico, entre los elementos usados están el de geología, hidrología, elementos ecológicos, sumideros y los suelos rústicos especialmente protegidos.

arqueológico terrestre de Puerto Rico”, se determinó incluir una categoría adicional que se identificará como valor añadido y cuyos criterios incluirán: espacios cárnicos con alto potencial recreativo y turístico, paisajes con calidad escénica, y presencia de valores arqueológicos o culturales.

Así quedaron definidos como criterios geológicos: extensión de los afloramientos de la roca caliza, permeabilidad de los suelos, presencia de cuevas y sumideros, edad u origen de lentes calizos y presencia de rasgos cárnicos de particular rareza; como criterios hidrológicos: las áreas o zonas de recarga, la capacidad de transmisividad de los acuíferos, la presencia de manantiales, ríos y quebradas, y las áreas con valor hidrológico según identificadas en el Plan Integral de Recursos de Agua de Puerto Rico; como criterios biológicos: áreas con gran biodiversidad de elementos críticos, áreas designadas como hábitat crítico de especies en peligro de extinción, áreas donde se encuentren especies endémicas, vulnerables o en peligro de extinción, y áreas con prioridad de conservación, según definidas por el Programa de Patrimonio Natural del DRNA; y como criterios de valor añadido: espacios cárnicos con alto potencial recreativo y turístico, paisajes con calidad escénica, y presencia de valores arqueológicos o culturales (Tabla 9).

Una vez redefinidos los criterios se determinó evaluar todo Puerto Rico y no solo la isla principal. Incorporándose de esta manera aquellas áreas que fueron recomendadas para ser evaluadas; entre las que encontramos: Punta Verraco-Cerro Toro, Punta Ventana, Monte Las Pardas, Ciénaga Las Cucharillas, Reserva Natural Caño Martín Peña, Bosque Estatal de Piñones-Vacía Talega, Ciénaga Baja, Río Herrera, Ensenada Comezón, Reserva Natural Río Espíritu Santo, Punta del Este en Vieques, Lagunas Las Salinas, El Tuque en Ponce, Las Lomas en Guayanilla, Punta del Faro en Cabo Rojo, Manglares de Carrizales en Hatillo, Reserva Natural Caño Tiburones, Bosque Estatal de Cambalache, Reserva Natural Hacienda La Esperanza, Reserva Natural Islas de Mona y Monito, Laguna

Tortuguero-Caño Caribe-Ciénaga Prieta, Pantano Cibuco, bosque costero de Dorado-Laguna Mata Redonda-Playa Sardinera, Sector Mameyal en Dorado, Ciénaga San Pedro en Toa Baja, Cañón del Río Guajataca, Reserva Natural Cueva del Indio, dunas cementadas en Mar Chiquita, Reserva Natural Isla Caja de Muertos, lentes calizos en la Cordillera Central, acantilados costeros de Aguadilla-Isabela-Quebradillas, Quebrada Bellaca, etc.

Entonces, con nuevos criterios y con nueva información disponible se procedió a evaluar las nuevas áreas propuestas, además de reevaluar las *áreas restringidas*, según determinadas en la primera etapa del estudio, haciendo uso del GIS. La nueva información comprendía capas de información de reciente creación, actualización de datos pre-existentes y precisión de la data sobre los elementos de geología, hidrografía y biología.

Utilizando los mapas de Monroe y JP, que delimitan de forma diferente las regiones calizas en la Isla, se superpusieron aquellos afloramientos que tuviesen una gran extensión. Todos los afloramientos extensos identificados se encuentran al norte y al sur de Puerto Rico y pertenecen al Periodo Terciario. En el norte se identificaron las formaciones: Camuy, Aymamón, Aguada, Cibao y Lares; mientras que en el sur se identificaron las formaciones de las Calizas Ponce y Juana Díaz, según descritas en los respectivos mapas geológicos.

Para delimitar las áreas dentro de estas formaciones geológicas que son más susceptibles al proceso de carsificación, se superpusieron los datos de permeabilidad disponibles<sup>18</sup>. La permeabilidad corresponde a la capacidad de absorción de agua del terreno, lo cual aumenta la cantidad de agua que entra en contacto con las rocas solubles que subyacen a los suelos. Estas condiciones promueven que la roca soluble (carbonatada) sea trabajada por una mayor

---

<sup>18</sup> Datos obtenidos en un estudio llevado a cabo por el USGS. Actualmente los datos están siendo analizados y el informe redactado para su futura publicación.

cantidad del agente solvente (agua acidulada). Las áreas con mayor permeabilidad (0-20 pulgadas por hora) fueron seleccionadas por sobre las áreas de menor permeabilidad.

Posteriormente, y debido a la complejidad de los sistemas de drenaje en el carso, se sobrepuso la información disponible relativa a la ubicación de cuevas y sumideros<sup>19</sup> y esta fue suplementada haciendo uso de la información topográfica disponible.

Luego, se identificaron y sobrepusieron la localización y extensión de las formaciones pertenecientes al Periodo Cretácico de las Calizas Aguas Buenas, Río Matón, Cotuí y Peñones que se encuentran ubicadas en la región central-este y oeste de Puerto Rico. Las áreas con afloramientos significativos de la Caliza Aguas Buenas fueron identificadas en los municipios de Caguas, Cidra y Cayey; de la Caliza Río Matón en los municipios de Barranquitas y Cayey; de la Caliza Cotuí en Cabo Rojo y San Germán; y de la Caliza Peñones en San Germán.

Haciendo uso del banco de datos de SEPRI y con las observaciones de campo de nuestros técnicos, se superpusieron las localizaciones de aquellas geoformas poco comunes que merecen ser preservadas por su rareza. Entre las geoformas que se identificaron están los zanjones, chimeneas, ventanas o arcos costeros, manatales ("blue holes"), cuevas verticales, cuevas marinas, acantilados costeros, cañones y karren. Aquellas áreas que fueron incluidas para protección por la presencia de geoformas poco comunes, entre otras razones, se encuentran Cerro El Abra en Guánica, Punta Ventana en Guayanilla, Área de Planificación Especial de la Reserva Natural Laguna Tortuguero, Bosque Estatal de Guánica, Reserva Natural Isla Caja de Muertos, Reserva Natural Islas de Mona

---

<sup>19</sup> La localización de cuevas y sumideros fue provista por la Sociedad Espeleológica de Puerto Rico.

y Monito, Río Guajataca, Punta Guaniquilla en Cabo Rojo y Cañón Las Bocas entre Barranquitas y Comerío, entre otras.

Para fines de este estudio, el USGS produjo un mapa digitalizado demarcando las zonas de recarga de la región cársica. Se seleccionaron aquellas áreas con mayor valor de recarga (250-85mm por año). Por medio de este mismo trabajo personal del USGS determinó que el valor de transmisividad de los acuíferos de la región norte (el Superior o Freático y el Inferior o Confinado) corresponden a valores mayores de 1,000-10,000 m/día y estos fueron los valores utilizados en la identificación de áreas.

Sobre la capa resultante se identificaron los cuerpos de agua que son agentes de desarrollo de la fisiografía cársica. Los cuerpos de agua incluidos fueron aquellos que de no contar con su presencia el desarrollo de los rasgos topográficos típicos de un área cársica no serían posibles. Algunos de estos cuerpos de agua son: Quebrada Bellaca (Quebradillas-Camuy), Quebrada Los Cedros (Guayanilla-Peñuelas), Río Guajataca y segmentos subterráneos de los ríos Camuy y Tanamá, entre otros.

También se incorporaron las áreas con valor hidrológico según identificadas en el Plan Integral de Recursos de Agua de Puerto Rico.

Recurriendo a la base de datos de la División de Patrimonio Natural del DRNA se seleccionaron todas las áreas que forman parte de la Lista de Áreas con Prioridad de Conservación del Programa de Patrimonio Natural y que poseen una mayor biodiversidad de elementos críticos. Asimismo, se identificaron aquellas regiones cársicas, densamente forestadas, cuya inclusión imparte mejor interconexión o continuidad entre zonas cársicas de alta biodiversidad. Para corroborar o redefinir la información se consultaron los mapas de diversidad biótica

producidos por entidades como: "Nature Conservancy", Servicio Forestal Federal y Servicio Federal de Pesca y Vida Silvestre.

Luego se procedió a localizar aquellas áreas que han sido designadas por el Servicio Federal de Pesca y Vida Silvestre o por el DRNA como hábitat natural crítico esencial (Anejo 1). Actualmente el Servicio Federal de Pesca y Vida Silvestre ha designado hábitat natural crítico esencial para seis especies en peligro de extinción: lagartijo gigante de Culebra (*Anolis roosevelti*), mariquita (*Agelaius xanthomus*), coquí dorado (*Eleutherodactylus jasper*), iguana de Isla de Mona (*Cyclura cornuta stejnegeri*), boa de Isla de Mona (*Epricates monensis*) y gecko del Islote de Monito (*Sphaerodactylus micropithecus*). El DRNA, por su parte, designó en el 2007 el hábitat natural crítico esencial para el coquí llanero (*Eleutherodactylus juanariveroi*), además de adoptar las áreas designadas por el Servicio Federal de Pesca y Vida Silvestre.

Posteriormente y utilizando la base de datos de la División de Patrimonio Natural del DRNA se identificó las áreas donde se tienen reportes de presencia de especies endémicas, vulnerables o en peligro de extinción, según identificadas por el Servicio Federal de Pesca y Vida Silvestre y por el DRNA.

Los espacios cárnicos con alto potencial recreativo y turístico fueron definidos como aquellas áreas en las cuales se llevan, llevaron o podrían llevarse a cabo diferentes tipos de actividades de esparcimiento, deportes de naturaleza e interés ecológico. Algunas de estas actividades son: senderismo, excursionismo, montañismo, observación y fotografía de la naturaleza, acampar, ciclismo de montaña, escaladas, descenso por ríos, caza y pesca deportiva, exploración de cuevas, remar en canoas o kayaks o cabalgatas a caballo. Entre las áreas que fueron identificadas para estos fines se encuentran: Bosque Estatal de Guánica, Reserva Natural Laguna Tortuguero, Reserva Natural Islas de Mona y Monito, Parque de las cavernas del Río Camuy, Cañón del Río Tanamá, segmentos

subterráneos del Río Encantado, Bosque Estatal de Río Abajo, Bosque Estatal de Cambalache, Las Cabachuelas en Morovis, Bosque Estatal de Vega, Sistema de Cuevas y Cavernas de Aguas Buenas, Bosque Estatal de Guajataca y Bosque Estatal de San Patricio.

Los paisajes con calidad escénica fueron seleccionados utilizando la experiencia y apreciación del personal científico y profesional que conformaron el Comité en la segunda etapa del estudio. Algunas de las áreas en las que este criterio fue identificado son: Reserva Natural Islas de Mona y Monito, acantilados costeros de Aguadilla-Isabela-Quebradillas, Sistema de Cuevas El Convento, Las Cabachuelas, Punta Ventana y los cañones de los ríos Guajataca, Tanamá, Grande de Arecibo y Grande de Manatí.

Para identificar la presencia de valores arqueológicos o culturales se contó con la información del banco de datos del Consejo de Arqueología Terrestre<sup>20</sup>. Algunas de las áreas en las que estos valores arqueológicos y culturales fueron identificados son: Cueva La Mora en Comerío, Reserva Natural Cueva del Indio y Reserva Natural Islas de Mona y Monito.

Como resultado de este proceso se incorporaron nuevas áreas, se eliminaron algunas áreas previamente protegidas y se modificaron los perímetros de otras. Algunas de las áreas que fueron eliminadas fueron: Punta Verraco – Cerro Toro en Guayanilla, Caño Tiburones entre Arecibo y Barceloneta, Reserva Natural Hacienda La Esperanza en Manatí, Reserva Natural Cueva del Indio en Arecibo, dunas cementadas en Mar Chiquita, Punta del Este en Vieques, Monte Las Pardas en Guánica, Los Morrillos (Punta del Faro) en Cabo Rojo, Lagunas Las Salinas y

---

<sup>20</sup> La información que fue provista por el Consejo de Arqueología Terrestre sobre la localización de yacimientos arqueológicos, pictografías y otros lugares de gran valor cultural.

El Tuque en Ponce, Reserva Natural Caño Martín Peña, Reserva Natural del Río Espíritu Santo, lentes calizos en el Municipio de Las Marías, entre otras.

Luego, utilizando la fotointerpretación, se procedió a excluir las áreas construidas y las canteras. Para llevar a cabo la fotointerpretación se utilizaron las fotos aéreas ortorectificadas del Departamento de Agricultura Federal (2004) y las del DRNA-CRIM (2007). También fueron eliminados los vertederos en operación y en cierre, según la capa de información digital provista por la JCA (2005) para la Oficina del Plan de Uso de Terrenos de Puerto Rico.

Además, se determinó que serían designadas como *áreas restringidas* aquellas áreas en las que se observaran criterios de al menos dos categorías de las que se definieron para la evaluación de Puerto Rico, permitiendo obtener una mejor representación de los rasgos y funciones del carso puertorriqueño.

Es vital indicar que aquellas zonas ubicadas fuera de las áreas designadas como *áreas restringidas* con prioridad de conservación, según definidas en este estudio, son las áreas que se considerarán aptas para la explotación comercial de corteza terrestre; siempre y cuando se cumpla con los debidos procesos ambientales de la Ley de Política Pública Ambiental de 2004, así como con los estatutos de la Ley Núm. 292, *supra*, Ley Núm. 132 de 25 de junio de 1968, según enmendada y conocida como "Ley de arena, grava y piedra", y los reglamentos promulgados al amparo de estas.

## ***APLICACION***

La Ley Núm. 292, *supra*, incluye un señalamiento a los efectos de que:

“Las recomendaciones de este estudio se incorporarán en el reglamento para la Extracción de Materiales de la Corteza Terrestre y en los reglamentos de la Junta de Planificación para zonificar aquellas áreas de la zona cársica que deban conservarse.”

En este estudio no se aplicaron los aspectos de reglamentación y de calificación que a continuación se exponen, dejando esta fase del trabajo para su posterior implementación.

### **Reglamentación**

El Reglamento Para Regir la Extracción, Excavación, Remoción y Dragado de los Componentes de la Corteza Terrestre fue enmendado, aprobándose el Reglamento 6916 el 15 de diciembre de 2004, entrando en vigor el 17 de enero de 2005. El mismo hace referencia la Ley Núm. 292, *supra*, e incorpora señalamientos de cumplimiento con lo dispuesto en dicha ley.

Las recomendaciones resultantes de este estudio del carso constituyen medidas de evaluación y de manejo de las actividades que se consideren bajo el amparo de lo dispuesto en el Reglamento de referencia que responde a la Ley de Arena, Grava y Piedra (Ley Núm. 132 de 25 de junio de 1968, según enmendada). Las mismas no consisten en pautas para reglamentación *per se* de la actividad de extracción de materiales de la corteza terrestre en las regiones del carso.

Sin embargo, las solicitudes de extracción que se presenten en el carso deben ser evaluadas tomando en consideración, entre otros, los aspectos y criterios señalados en este estudio.

## Clasificación

La Ley Núm. 81 de 30 de agosto de 1991, según enmendada (Ley de Municipios Autónomos), dispone que los Planes de Ordenación Territorial sean elaborados y revisados por los municipios en estrecha coordinación con la JP y con otras agencias concernidas, incluyendo el DRNA, para asegurar la compatibilidad con los planes estatales, entre otras cosas. Asimismo, dicha ley en el Capítulo 13 establece las determinaciones sobre el suelo que no debe ser contemplado para uso urbano o urbanizable en un Plan de Ordenación Territorial. La clasificación de suelo a la que se hace referencia es el Suelo Rústico Especialmente Protegido (SREP). Lo anterior implica que los gobiernos municipales, mediante sus respectivos Planes Territoriales, cuentan con un mecanismo para clasificar el terreno y por consiguiente regular el uso del mismo protegiéndolo de cualquier actividad que no esté conforme a lo establecido.

A los fines de proteger la sensitiva realidad físico-natural del carso, el DRNA realizará las gestiones pertinentes con la JP y con la Oficina del Plan de Uso de Terrenos de Puerto Rico para identificar los mecanismos adecuados para establecer los usos de terreno en el área demarcada. Esto, con el propósito de establecer la estrategia para zonificar el área, así como los trabajos que requieren acciones conjuntas. La JP deberá identificar los gobiernos municipales que se integrarán, toda vez que es la entidad que aprueba las distintas etapas que conforman el Plan de Ordenación Territorial.

Asimismo, la Ley Núm. 550 de 3 de octubre de 2004 crea la Oficina del Plan de Uso de Terrenos de Puerto Rico, adscrita a la JP. Entre las responsabilidades de

dicha Oficina se encuentra la de elaborar el Plan de Uso de Terrenos de Puerto Rico para que sirva como el instrumento principal que propicie el desarrollo sustentable del país y el aprovechamiento óptimo de los terrenos, basado en un enfoque integral y multisectorial. Una de las funciones principales de esta Oficina será recomendar la clasificación del territorio, a base del análisis de las condiciones físicas, socio-económicas y ambientales actuales e interpretar las tendencias referentes al uso del suelo para que puedan ser implantadas tanto por la JP como por los municipios a los que se les hayan transferido competencias sobre la ordenación territorial, de conformidad con la Ley de Municipios Autónomos.

## Calificación

El DRNA reconoce la importancia de establecer el marco institucional bajo el cual identificar y determinar los mecanismos adecuados para calificar los terrenos que comprenden las áreas cárnicas que se recomiendan conservar por su alto valor geológico, hidrológico y ecosistémico. Señalamos también, que esta gestión de protección ambiental a su vez debe estar vinculada legislativamente a criterios normativos y estratégicos, y a esfuerzos municipales, locales y regionales de planificación. Por consiguiente, surge que las gestiones para calificar el área delimitada trascienden este estudio, toda vez que la JP debe tener una participación activa primaria en esta gestión, junto a los gobiernos municipales que correspondan; así como la Administración de Reglamentos y Permisos, quienes ulteriormente administran e implantan los reglamentos que la Junta de Planificación a estos fines desarrollen.

La JP es la entidad gubernamental con facultad para regular el uso del terreno y para ello administra, entre otros, el Reglamento de Calificación de Puerto Rico (Reglamento de Planificación Núm. 4 del 28 de junio de 2008). Este reglamento contiene disposiciones relacionadas con distintos distritos que pueden ser

utilizados para conservar las *áreas restringidas* resultantes del estudio. No obstante, la utilización de cada distrito dependerá de las características del suelo y del grado de protección que requiera y de la ausencia de derechos adquiridos previos a la Ley Núm. 292, *supra*. Entre los distritos de calificación que se podrían aplicar se mencionan los siguientes:

- ❑ Distrito B-Q (Bosques)
- ❑ Distrito CR (Conservación de Recursos)
- ❑ Distrito CR-C (Conservación de Cuencas)
- ❑ Distrito CR-A (Conservación de Recursos Arqueológicos)
- ❑ Distrito PR (Preservación de Recursos)
- ❑ Distrito RE (Ruta Escénica)
- ❑ Distrito SH (Sitio Histórico)

## **RECOMENDACIONES<sup>21</sup>**

Las recomendaciones que surgen de este trabajo tienen *dos enfoques*: las que están dirigidas a implantar la aplicación de los hallazgos de este estudio en el manejo diario de las evaluaciones técnicas efectuadas en el curso y aquellas que permitirán continuar con otras fases de desarrollo de este trabajo, para ampliar y refinar este estudio.

Dentro de esta estructura, las recomendaciones se han dividido en *dos grupos*: las ejecutables a corto plazo y las de largo plazo. Aquellas acciones que se entiende pueden ser implantadas dentro de los próximos dieciocho (18) meses, han sido consideradas de corto plazo. Aquellas, que por lo extenso y complejo de su ejecución o porque envuelven la coordinación con otras agencias y no dependen exclusivamente de las acciones del DRNA, se consideran acciones viables a largo plazo, ejecutables dentro de un margen de tiempo de sesenta (60) meses.

### **Acciones viables a CORTO PLAZO (18 meses):**

1. Efectuar inspecciones de terreno para corroborar el estado de las *áreas restringidas*.
2. Delimitar franjas de amortiguamiento alrededor de las áreas restringidas que así lo requieran, además de desarrollar un protocolo para evaluar la extensión de los bolsillos de terreno dentro de las *áreas restringidas* que constituyen

---

<sup>21</sup> Estas recomendaciones no están necesariamente en orden de prioridad, ni de importancia. Las mismas se trabajarán simultánea y paralelamente de acuerdo a cómo se desarrollen los trabajos.

áreas afectadas por acciones humanas, tales como: desarrollos, canteras, obras de infraestructura (e.g. carreteras) y actividades agrarias.

3. Someter a escrutinio técnico toda solicitud de extracción de los materiales de la corteza terrestre, con propósitos comerciales, presentada ante la consideración del DRNA que ubique en las regiones cársicas para determinar la condición del terreno y si el lugar propuesto es parte de las *áreas restringidas*. Este escrutinio debe llevarse a cabo en la División de Corteza Terrestre en coordinación con las unidades técnicas de apoyo y debe incorporarse al Sistema de Información de Permisos y Endosos (SIPE) con el fin de llevar estadísticas sobre la demanda del material cársico; y al banco de datos del Sistema GIS, para registrar la distribución geográfica de los casos evaluados, las consideraciones y atributos particulares.
4. Denegar las solicitudes de extracción de material de la corteza terrestre para fines comerciales cuando se corrobore que efectivamente el lugar propuesto ubica **dentro** de las *áreas restringidas*.
5. Evaluar las solicitudes de extracción de material de la corteza terrestre para fines comerciales conforme a los estatutos vigentes cuando se corrobore que el lugar propuesto ubica **fuera** de las *áreas restringidas* o que aunque se sitúen en las *áreas restringidas*, el sitio esté alterado por acciones humanas.
6. Confirmar la etapa de las consultas de ubicación y de las obras de construcción registradas en la JP y en la Administración de Reglamentos y Permisos (ARPE), respectivamente, para precisar cuántos de los casos identificados ya han sido aprobados y qué acciones se podrían implantar para que aquellos casos que aún estén pendientes se sometan al proceso de escrutinio de los criterios esbozados en este estudio. Esto es de similar aplicación para los Municipios Autónomos.

7. Establecer un Comité Multisectorial (Anejo 2) que incluya agencias estatales y federales con jurisdicción en estos asuntos, así como los municipios y otros grupos de interés (tal como: la Sociedad Espeleológica de Puerto Rico, Ciudadanos del Karso, Misión Industrial, Universidades Públicas y Privadas, así como diversos grupos ambientalistas comunitarios y otros grupos con interés) para que identifiquen los usos y las actividades compatibles con los atributos bióticos y abióticos de las regiones cársicas fuera de las *áreas restringidas*. Este Comité debería estar encabezado por representantes de la JP y el DRNA.
8. Definir, en coordinación con el Comité Multisectorial, el alcance de algunos conceptos contenidos en la ley, entre ellos, explotación comercial.
9. Mantener y ampliar el banco de datos levantado como parte de este estudio, con la información que está produciendo actualmente el DRNA y las otras agencias estatales y federales consultadas. Usar esta información para la toma de decisiones, para precisar el alcance geográfico de la delimitación de las *áreas restringidas* y zonas de amortiguamiento recomendadas y para evidenciar más certeramente los componentes bióticos y abióticos de la zona cársica; además, de así poder revisar, ampliar, enriquecer y refinar este trabajo.
10. Incorporar los criterios y procesos resultantes de este estudio al Manual de Procedimientos del DRNA, así como todos los requerimientos procesales y técnicos de la Ley Núm. 292, *supra*, pertinentes al manejo de los recursos cársicos mediante la emisión de permisos, para así implantar un procedimiento de evaluación amplio, objetivo y efectivo.

11. Aplicar los criterios y procesos de evaluación descritos en este estudio a todas las acciones del DRNA, tales como, pero sin limitarse a: permisos, franquicias, endosos, concesiones, autorizaciones, etc.

**Acciones viables a LARGO PLAZO (60 meses):**

1. Elaborar recomendaciones basadas en los señalamientos de este estudio para dirigir acciones legislativas que podrían culminar en enmiendas a las leyes correspondientes (Ley Núm. 292, *supra*, y Ley Núm. 132, *supra*, y sus reglamentos, según aplique). Este esfuerzo debe efectuarse en coordinación con otras agencias estatales que regulan y fiscalizan acciones que podrían verse afectadas por variantes sobre el uso de terreno en las regiones cársicas demarcadas como *áreas restringidas* y las franjas de amortiguamiento a identificarse.
2. Presentar una propuesta a la JP para que la totalidad de las áreas cársicas (entendiéndose el carso del norte, del sur, los lentes aislados e islas adyacentes) se designen como parte de un Área de Planificación Especial (APE), aplicándole disposiciones especiales de calificación a las *áreas restringidas*, dirigidas a su conservación.
3. Estructurar un Plan de Manejo Integral para el APE de la región cársica y Guías para los ciudadanos que residan en terrenos cársicos, una vez designada por la JP.
4. Fomentar entre los dueños de terrenos de las *áreas restringidas* y zonas de amortiguamiento su participación en la implantación de mecanismos de conservación y manejo de sus terrenos (tales como: bosques auxiliares, servidumbres de conservación, programa de legado forestal, creación de

bancos de mitigación, protección de cuevas, entre otros), recibiendo algún beneficio por esta práctica.

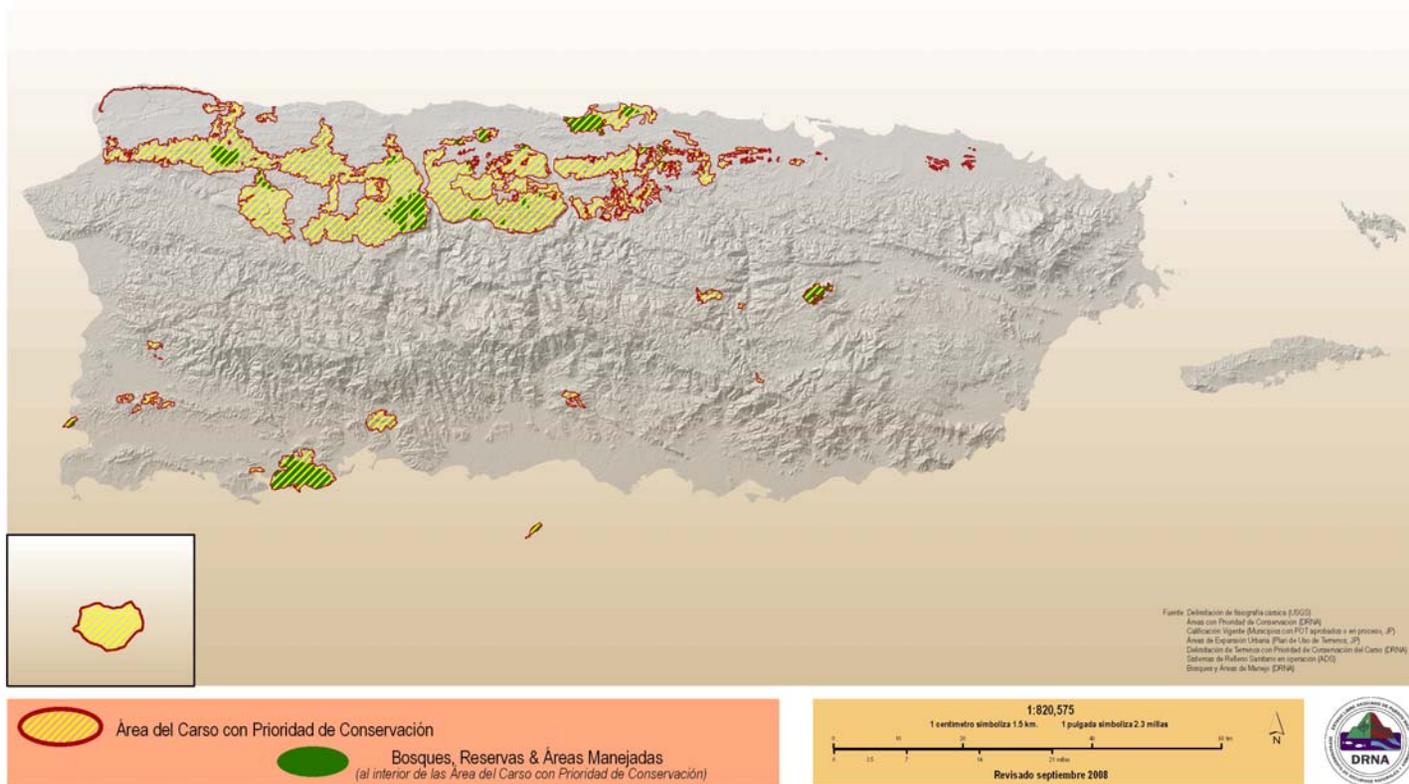
5. Considerar lo dispuesto en las Metas y Objetivos del Plan de Usos de Terrenos, el Reglamento de Calificación de Puerto Rico (Reglamento de Planificación Núm. 4), los Planes de Ordenación Territorial y el eventual Plan de Uso de Terrenos del Estado Libre Asociado de Puerto Rico (en proceso de elaboración), para asignar distritos de calificación (zonificación) de terrenos para las regiones cársicas, conforme las características del suelo y el grado de protección que requieran.
6. Evaluar la huella ecológica de cada una de las actividades de desarrollo propuestas dentro del carso, y en particular dentro de las *áreas restringidas* y sus respectivas zonas de amortiguamiento, para sopesar el costo ambiental del impacto que tendrían e incorporar este factor en el proceso de evaluación.
7. Continuar con el proceso de un plan de adquisición contemplando los diferentes mecanismos de protección disponibles, entre ellos: compraventa, acuerdos, arrendamientos, donaciones, permuta, legados, mitigación, servidumbres de conservación y transferencia de derechos de desarrollo, entre otros. Además de considerar la aplicación de cualquier otra estrategia innovadora para conservar las áreas prioritarias identificadas como *áreas restringidas*, de tal manera que se integren a terrenos ya protegidos o constituyan corredores ecológicos funcionales que unan estas áreas.
8. Solicitar la asignación de fondos o la aprobación de alguna medida legislativa conducente a generar fondos para la adquisición de los terrenos, y así viabilizar la protección de las áreas cársicas identificadas como *áreas restringidas* por su importancia, su vulnerabilidad y la extensión potencial que

éstas representan para los terrenos públicos contiguos ya protegidos (ya sea directamente o mediante corredores).

## **Apéndices**

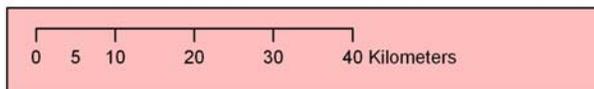
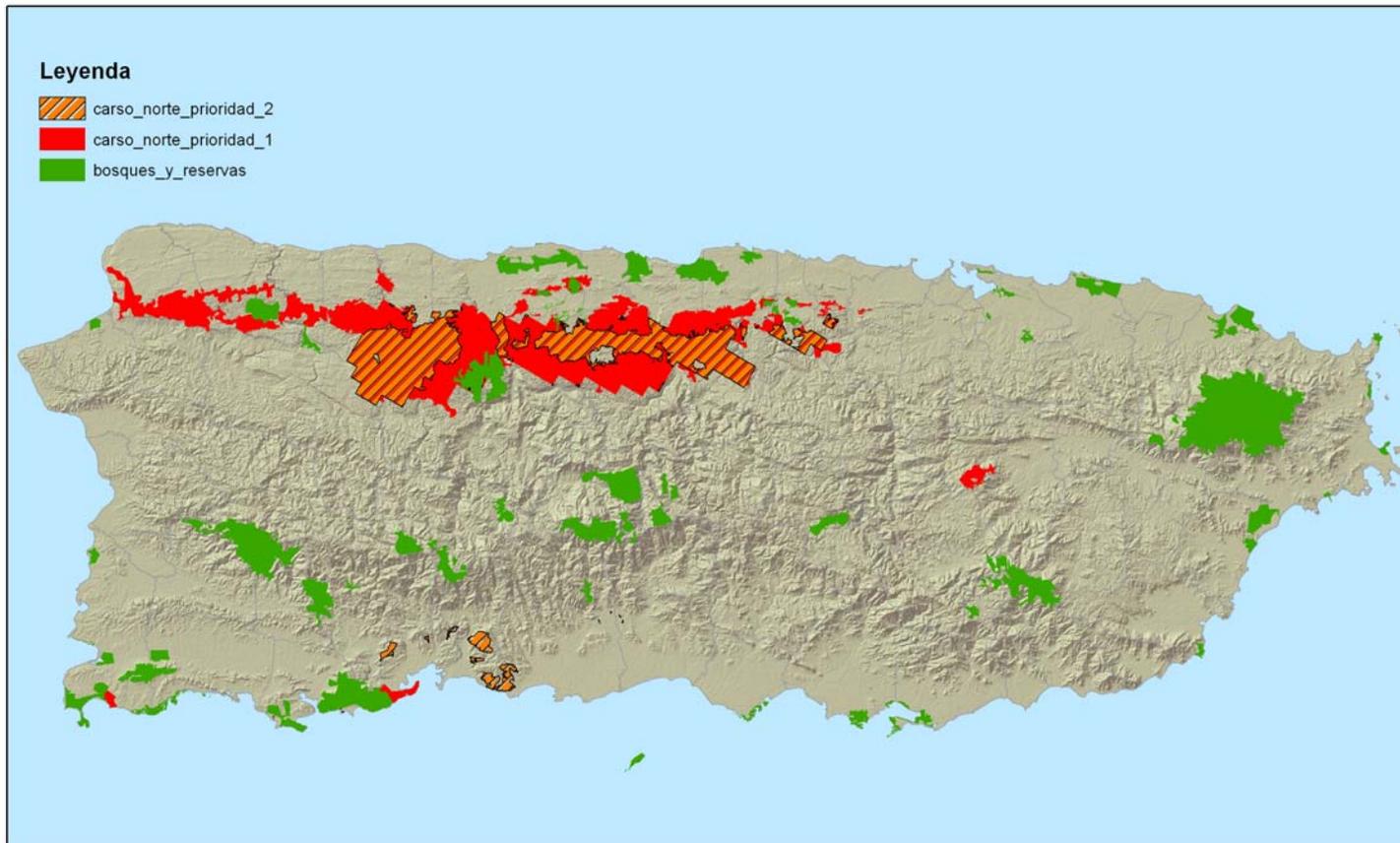
# Mapa 1

# Terrenos del Carso con Prioridad de Conservación



MAPA 1

## Mapa 2 Áreas Restringidas (Estudio Preliminar) en el Carso de Puerto Rico



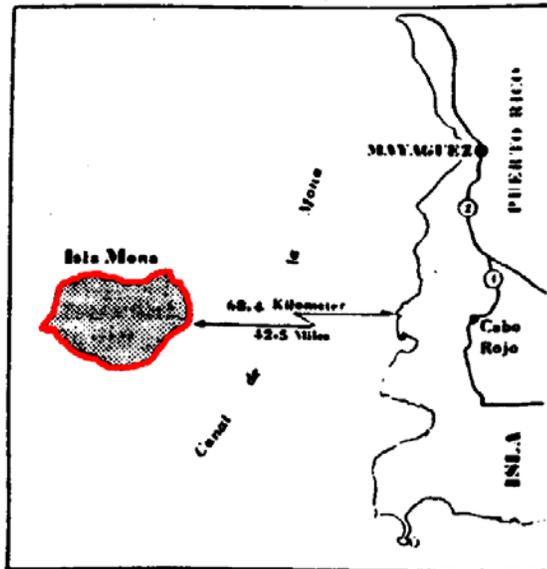
1:670,000

Departamento de Recursos Naturales Y Ambientales  
Abril, 2005  
No se autoriza la reproducción ni distribución de este mapa.

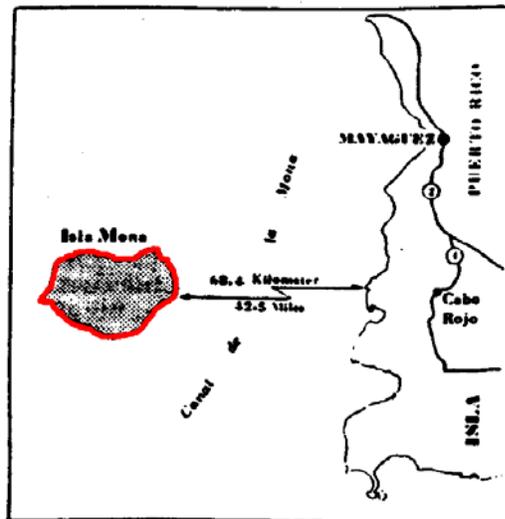


## Anejo 1: Áreas Designadas como Hábitat Natural Crítico Esencial en Puerto Rico

1. Hábitat Natural Crítico Esencial de la iguana de Mona (*Cyclura stegnetjeri*)<sup>1</sup>



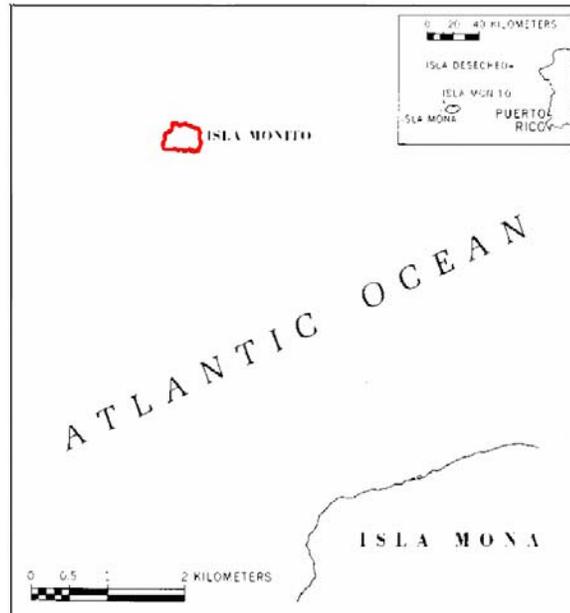
2. Hábitat Natural Crítico Esencial de la boa de Isla de Mona (*Epicrates monensis monensis*)<sup>2</sup>



<sup>1</sup> 50CFR Part 17.95(c), Electronic Code of Federal Regulations ([http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/text-idx?sid=9b24c99ca6e666f94cbf987e17f70f05&c=ecfr&tpl=/ecfrbrowse/Title50/50tab\\_02.tpl](http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/text-idx?sid=9b24c99ca6e666f94cbf987e17f70f05&c=ecfr&tpl=/ecfrbrowse/Title50/50tab_02.tpl)), 2005

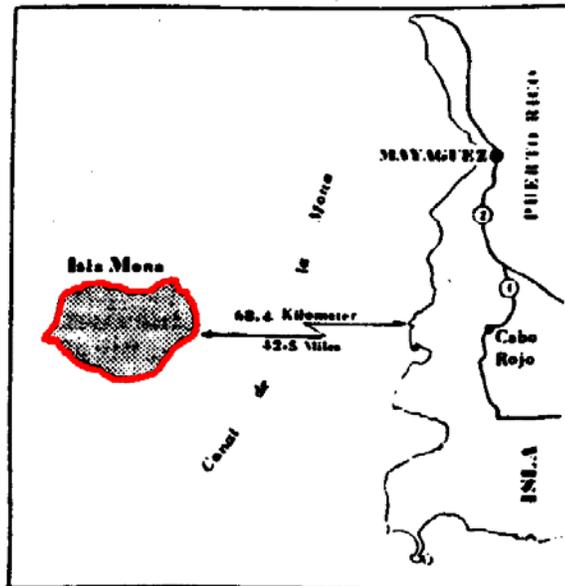
<sup>2</sup> Idem

3. Hábitat Natural Crítico Esencial del gecko del Islote Monito (*Sphaerodactylus micropithecus*)<sup>3</sup>



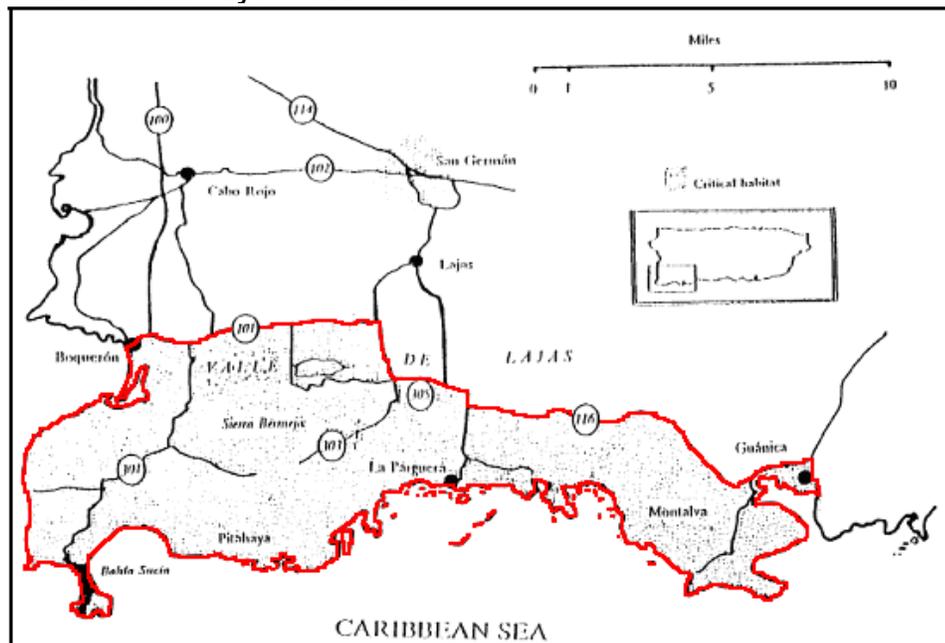
4. Hábitat Natural Crítico Esencial de la mariquita (*Agelaius xanthomus*)<sup>4</sup>

Sección: Isla de Mona



<sup>3</sup> Idem  
<sup>4</sup> Idem

## Sección Cabo Rojo – Guánica



Sección: San Germán

Porción circular en la Isla de Puerto Rico, que posee un radio de una milla y su centro se localiza en la intersección entre las Carreteras PR-360 y PR-102 en el pueblo de San Germán.

Sección: Ceiba

Base Naval de Roosevelt Roads en el sureste del municipio de Ceiba.

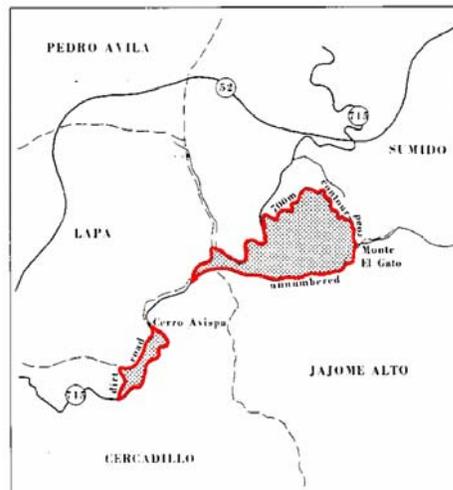
### 5. Hábitat Natural Crítico Esencial del coquí dorado (*Eleutherodactylus jasper*)<sup>5</sup>

Las áreas comprendidas en los siguientes lugares en el municipio de Cayey:

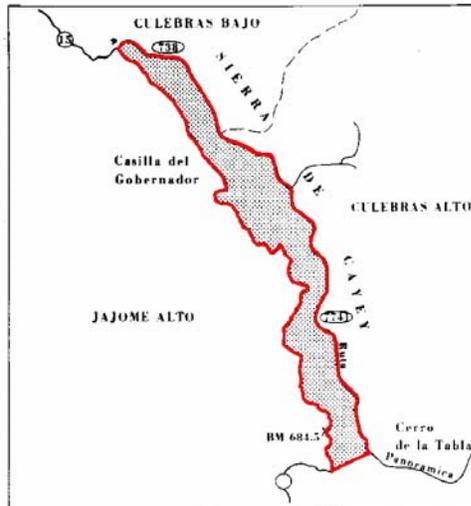
1. Cerro Avispa: áreas a elevación sobre los 700 metros en los lados sur y sureste de la montaña: desde la unión de la Carretera 715 y un camino de tierra sin numerar hacia el sur y el suroeste a lo largo de la Carretera 715 hasta la unión sur entre dicha Carretera 715 y el mismo camino de tierra sin numerar, de allí hacia el norte y el noreste a lo largo del camino de tierra justo debajo de la vertiente sureste del Cerro Avispa hasta su unión con la Carretera 715.

<sup>5</sup> Idem

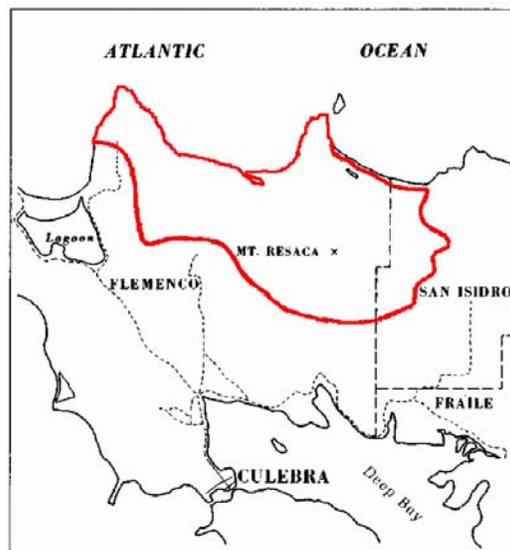
2. Monte El Gato: toda la parte de la cumbre a elevaciones sobre los 700 metros: desde la unión de la Carretera 715 y la línea de contorno a los 700 metros hacia el oeste a lo largo de la Carretera 715 hasta la unión de la Carretera 715 y un camino sin numerar, de allí hacia el norte y el noreste a lo largo de ese camino hasta donde cruza la línea de contorno de los 700 metros, y de allí hacia el este a lo largo de la línea de contorno de los 700 metros hasta donde ésta cruza la Carretera 715.



3. Sierra de Cayey: áreas a elevación sobre los 700 metros: desde la unión de la Carretera 738 y la Carretera 15 hacia el sureste a lo largo de la Carretera 15 hasta un punto 500 metros al sur del punto de referencia de cota 684.5, de allí hacia el noreste en línea recta hasta un punto de la Carretera 7741 dos kilómetros al sur de la unión de la Carretera 7741 y la Carretera 738, de allí hacia el norte y el noreste a lo largo de la Carretera 7741 hasta su unión con la Carretera 738, y de allí hacia el noroeste a lo largo de la Carretera 738 hasta su unión con la Carretera 15.

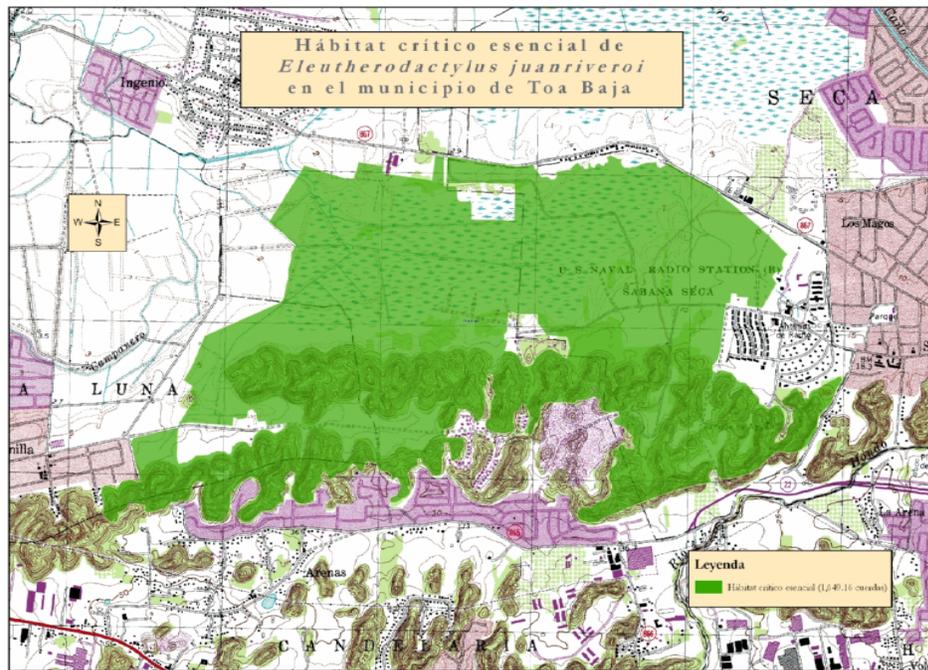


6. Hábitat Natural Crítico Esencial del lagartijo gigante de Culebra (*Anolis roosevelti*)<sup>6</sup>



<sup>6</sup> Idem

7. Hábitat Natural Crítico Esencial del coquí llanero (*Eleutherodactylus juanriveroi*)<sup>7</sup>



<sup>7</sup> Documento de designación del hábitat natural crítico esencial del coquí llanero, *Eleutherodactylus juanriveroi* (Ríos-López y Thomas): Una nueva especie para Puerto Rico, 2007. ([www.drna.gobierno.pr/avisos-publicos/HABITATCRITICOCOQUILLANEROJUEVES19.pdf](http://www.drna.gobierno.pr/avisos-publicos/HABITATCRITICOCOQUILLANEROJUEVES19.pdf))

## Anejo 2: Organigrama de Comité Multisectorial

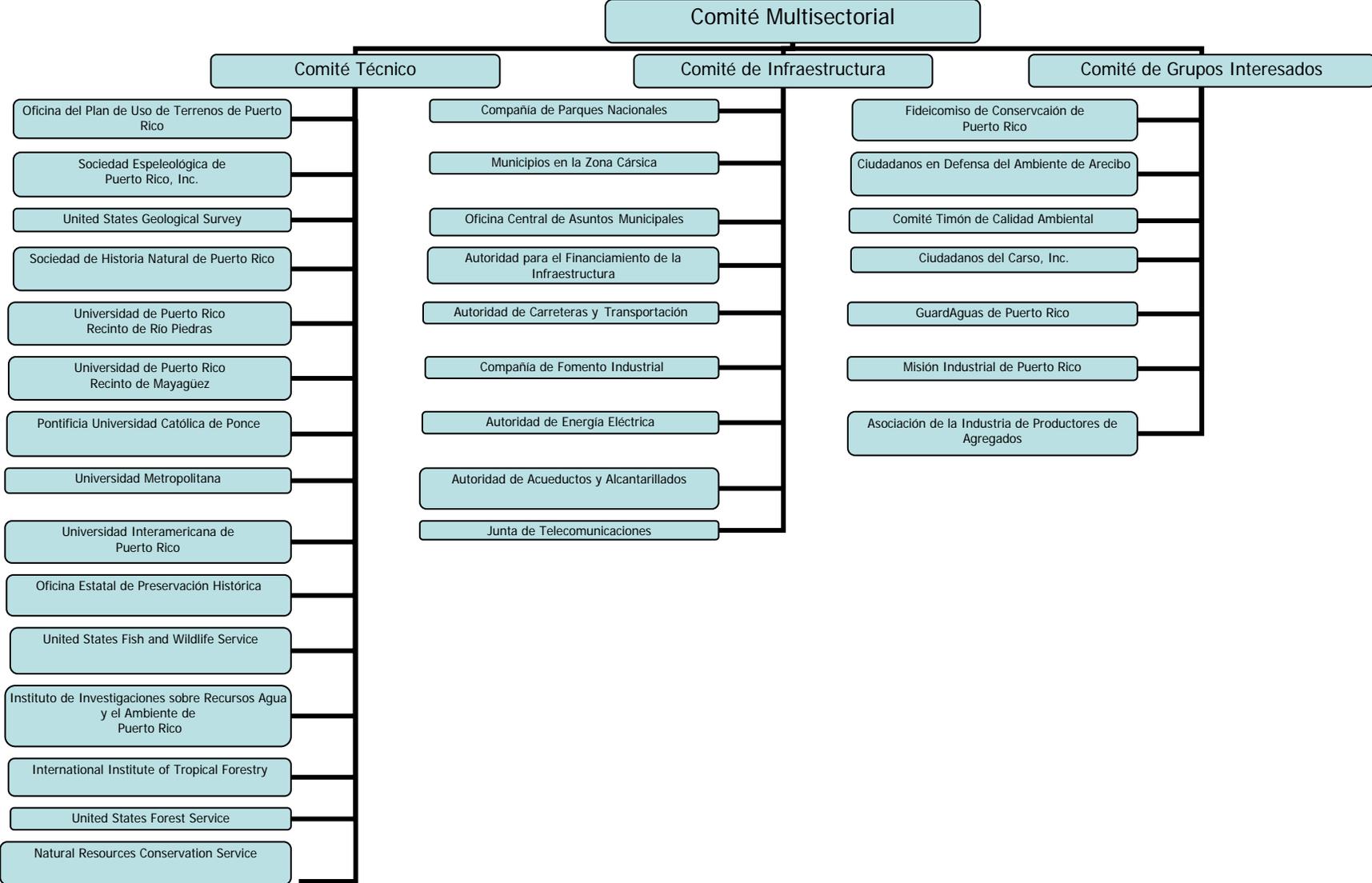


Tabla 1: Tiempo geológico

ERA	PERIODO		ÉPOCA	MA	
Cenozoica	Cuaternario	Antropogeno	Holoceno	0.01	
			Pleistoceno	1.64	
	Terciario	Neogeno	Plioceno	5.2	
			Mioceno	S	
				M	
				I	
			Paleogeno	Oligoceno	S
					M
					I
			Eoceno	55	
Paleoceno	65				
Mesozoica	Cretácico	S	89		
		I	146		
	Jurásico	208			
	Triásico	245			

Leyenda:

MA – millones de años

S - superior

M - mediano

I – inferior

Tabla 2: Especies designadas como en peligro de extinción o vulnerables, según los estatutos estatales y federales

NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMUN	TIPO DE ORGANISMO	DESIGNACION
<i>Accipiter striatus venator</i>	falcón de sierra	ave	CR, ENF
<i>Adiantum vivesii</i>		helecho	CR, ENF
<i>Agelaius xanthomus</i>	mariquita de Puerto Rico	ave	EN, ENF
<i>Alloweckellia gurnee</i>	anfípodo ciego o camarón cavernícola de agua dulce	invertebrado	CR
<i>Amazona vittata vittata</i>	cotorra de Puerto Rico	ave	CR, ENF
<i>Anolis cooki</i>	lagartijo del seco	reptil	EN
<i>Atlantea tulita</i>	mariposa	invertebrado	CR
<i>Aurodendron pauciflorum</i>		árbol	CR, ENF
<i>Banara vanderbiltii</i>	palo de Ramón	árbol/arbusto	CR, ENF
<i>Buteo platypterus brunnescens</i>	guaraguao de bosque	ave	CR, ENF
<i>Buxus vahlii</i>	diablito de tres cuernos	árbol	EN, ENF
<i>Callicarpa ampla</i>	capá rosa o péndula cimarrona	árbol	CR, ENF
<i>Calyptronoma rivalis</i>	palma manaca	árbol	EN, VUF
<i>Caprimulgus noctitherus</i>	guabairo pequeño de Puerto Rico	ave	EN, ENF
<i>Catesbaea melanocarpa</i>		arbusto	ENF
<i>Chamaecrista glandulosa var. mirabilis</i>		arbusto	EN, ENF
<i>Chelonia mydas</i>	peje blanco	reptil	EN, VUF
<i>Cordia belonis</i>		arbusto	EN, ENF
<i>Cornutia obovata</i>	palo de nigua	árbol	CR, ENF
<i>Cyclura cornuta stejnegeri</i>	iguana de Mona	reptil	EN, VUF
<i>Daphnopsis helleriana</i>		árbol/arbusto	CR, ENF
<i>Dendrocygna arborea</i>	chiriria nativa	ave	CR
<i>Dermochelys coriacea</i>	tinglar	reptil	EN, ENF
<i>Eleutherodactylus juanariveroi</i>	coquí llanero	anfibio	CR

<b>NOMBRE CIENTIFICO</b>	<b>NOMBRE COMUN</b>	<b>TIPO DE ORGANISMO</b>	<b>DESIGNACION</b>
<i>Eleutherodactylus karlschmidti</i>	coquí palmeado	anfibio	CR
<i>Epicrates inornatus</i>	boa de Puerto Rico	reptil	VU, ENF
<i>Epicrates monensis monensis</i>	boa de Mona	reptil	EN, VUF
<i>Eretmochelys imbricata</i>	carey de concha	reptil	EN, ENF
<i>Erophylla sezekorni</i>	murciélago marrón come flores	mamífero	VU
<i>Eugenia woodburyana</i>		árbol	CR, ENF
<i>Falco peregrinus tundrius</i>	falcón peregrino	ave	CR
<i>Fulica caribaea</i>	gallinazo nativo	ave	VU
<i>Goetzea elegans</i>	matabuey	árbol	EN, ENF
<i>Harrisia portoricensis</i>	higo chumbo	cactus	VU, VUF
<i>Mabuya mabuya sloanei</i>	Santa Lucía	reptil	VU
<i>Mitracarpus maxwelliae</i>		arbusto	EN, ENF
<i>Mitracarpus polycladus</i>		arbusto	EN, ENF
<i>Myrcia paganii</i>	ausú	árbol	CR, ENF
<i>Ottoschulzia rhodoxylon</i>	palo de rosa	árbol	CR, ENF
<i>Oxyura jamaicensis</i>	pato chorizo	ave	VU
<i>Pelecanus occidentalis occidentalis</i>	pelicano pardo	ave	EN, ENF
<i>Peltophryne lemur</i>	sapo concho	anfibio	CR, VUF
<i>Peperomia wheeleri</i>		hierba	EN, ENF
<i>Pleodendron macranthum</i>	chupacallos ó aceitillo	árbol	CR, ENF
<i>Schoepfia arenaria</i>	araña	árbol	EN, VUF
<i>Solanum drymophilum</i>	erubia	arbusto	EN, ENF
<i>Sphaerodactylus micropithecus</i>	salamanquita o gueco de Isla de Monito	reptil	CR, ENF
<i>Sthalia monosperma</i>	cobana negra	árbol	VU, ENF
<i>Stenoderma rufum darioi</i>	murciélago rojo frutero	mamífero	VU
<i>Sterna dougallii dougallii</i>	palometa	ave	VU, VUF
<i>Tectaria estremarana</i>		helecho	CR, ENF
<i>Thelypteris verecunda</i>	oxa	helecho	CR, ENF

<b>NOMBRE CIENTIFICO</b>	<b>NOMBRE COMUN</b>	<b>TIPO DE ORGANISMO</b>	<b>DESIGNACION</b>
<i>Trichilia triacantha</i>	bariaco	árbol	CR, ENF
<i>Typhlatya monae</i>	camarón de cuevas de Mona	invertebrado	CR
<i>Zanthoxylum thomasianum</i>		árbol	EN, ENF

Leyenda:

CR            en peligro de extinción crítico - Estatal  
 EN            en peligro de extinción - Estatal  
 ENF          en peligro de extinción - Federal  
 VU            vulnerable - Estatal  
 VUF          vulnerable - Federal

Tabla 3: Elementos críticos en las áreas cársicas protegidas del norte; según el Programa de Patrimonio Natural del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales

<b>NOMBRE CIENTIFICO</b>	<b>NOMBRE COMUN</b>	<b>TIPO DE ORGANISMO</b>	<b>DESIGNACION</b>
<i>Accipiter striatus venator</i>	falcón de sierra de Puerto Rico	ave	CR,ENF,EC
<i>Actinostachys pennula</i>		helecho	EC
<i>Adiantum macrophyllum</i>	culantrillo	helecho	EC
<i>Adiantum vivesii</i>		helecho	CR,ENF,EC
<i>Adiantum wilsonii</i>		helecho	EC
<i>Amaranthus australis</i>	blero de agua	herbácea acuática	EC
<i>Aniseia martinicensis</i>		bejuco	EC
<i>Anolis occultus</i>	lagartijo enano	reptil	DD,BV
<i>Antirhea portoricensis</i>	quina	árbol	EC
<i>Antirhea sintenisii</i>	quina	árbol	EC
<i>Aristida spiciformis</i>		gramínea	EC
<i>Auerodendron pauciflorum</i>		árbol/arbusto	CR,ENF,EC
<i>Baccharis dioica</i>		arbusto	EC
<i>Banara portoricensis</i>	palo de Ramón	árbol	EC
<i>Banara vanderbiltii</i>	palo de Ramón	arbusto	CR,ENF,EC
<i>Beilschmiedia pendula</i>	aguacate cimarrón ó cedro macho	árbol	EC
<i>Bletia patula</i>	bletia, flor de pasmo ó mariposilla	orquídea	EC
<i>Bourreria revoluta</i>		árbol/arbusto	EC
<i>Bouteloua juncea</i>		gramínea	EC
<i>Brunfelsia portoricensis</i>		arbusto	EC
<i>Buchnera longifolia</i>	espiga de San Antonio	árbol	EC
<i>Bulbostylis junciformis</i>		junco	EC
<i>Bulbostylis pauciflora</i>		junco	EC

NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMUN	TIPO DE ORGANISMO	DESIGNACION
<i>Bumelia bellonis</i>	tabloncillo ó varital	árbol	EC
<i>Burmannia capitata</i>		herbácea	EC
<i>Buteo platypterus brunnescens</i>	guaraguao de bosque	ave	CR,ENF,EC
<i>Buxus portoricensis</i>		arbusto	EC
<i>Buxus vahlii</i>	diablito de tres cuernos	árbol	EN,ENF,EC
<i>Calyptranthes zuzygium</i>		árbol	EC
<i>Calyptronoma rivalis</i>	palma manaca	palma	EN,VUF,EC
<i>Campylocentrum pachyrrhizum</i>		orquídea	EC
<i>Canavalia nitida</i>	haba de burro de jardín ó mato color	árbol	EC
<i>Chamaecrista glandulosa var mirabilis</i>		arbusto	EN,ENF,EC
<i>Chelonia mydas</i>	peje blanco	reptil	EN,VUF,EC
<i>Chionanthus axilliflora</i>	hueso	árbol/arbusto	EC
<i>Chionanthus ligustrina</i>	hueso	árbol	EC
<i>Clidemia portoricensis</i>	camasey	arbusto	EC
<i>Coccoloba pallida</i>		árbol	EC
<i>Coccoloba rugosa</i>	ortegón	árbol	EC
<i>Coccoloba tenuifolia</i>		árbol	EC
<i>Cochleanthes flabelliformis</i>		orquídea	EC
<i>Patagioenas leucocephala</i>	paloma cabeciblanca	ave	DD,EC
<i>Cornutia obovata</i>	nigua	árbol	CR,ENF
<i>Cornutia pyramidata</i>	azulejo	árbol/arbusto	EC
<i>Corymborchis flava</i>		orquídea	EC
<i>Cynometra portoricensis</i>	oreganillo	árbol	EC
<i>Cyperus unioloides</i>		junco	EC
<i>Cyrtopodium punctatum</i>	cañuela ó piñuela	orquídea	EC
<i>Daphnopsis helleriana</i>		árbol/arbusto	CR,ENF,EC
<i>Dendrocygna arborea</i>	chirriría nativa	ave	CR,EC
<i>Dennstaedtia cicutaria</i>		helecho	EC
<i>Dennstaedtia globulifera</i>		helecho	EC

NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMUN	TIPO DE ORGANISMO	DESIGNACION
<i>Dermochelys coriacea</i>	tinglar	reptil	EN,ENF,EC
<i>Dichantherium aciculara</i>		gramínea	EC
<i>Dichantherium dichotomum</i>		gramínea	EC
<i>Dichantherium sabulorum</i>		gramínea	EC
<i>Dioclea hexandra</i>	bejuco de mato	bejuco	EC
<i>Diospyros revoluta</i>	guayabota ó zapote negro	árbol	EC
<i>Diospyros sintenisii</i>	guayabota ó guayabota níspero	árbol	EC
<i>Diploglossus pleei</i>	culebra de cuatro patas	reptil	END
<i>Dracontium polyphyllum</i>	guapa	árbol/arbusto	EC
<i>Drosera capillaris</i>		herbácea insectívora	EC
<i>Drypetes ilicifolia</i>	encinillo	arbusto	EC
<i>Drypetes lateriflora</i>	cueriduro	arbusto	EC
<i>Echinodorus tenellus var latifolius</i>		herbácea acuática	EC
<i>Eleocharis pachystyla</i>		junco	EC
<i>Eleocharis rostellata</i>		junco	EC
<i>Epicrates inornatus</i>	boa de Puerto Rico ó culebrón	reptil	VU,ENF,EC
<i>Epidendrum oncioides</i>		orquídea	EC
<i>Eptesicus fuscus wetmorei</i>	murciélago alioscuro ó marrón mayor	mamífero	DD,EC
<i>Eriosema crinitum</i>		arbusto	EC
<i>Erythrina eggersii</i>	brucayo, búcar, bucaré ó bucayo	árbol	EC
<i>Eugenia sintenisii</i>	murta	árbol/arbusto	EC
<i>Eugenia stewardsonii</i>		árbol	EC
<i>Eugenia underwoodii</i>		arbusto	EC
<i>Eupatorium borinquense</i>		arbusto	EC
<i>Eupatorium oteroi</i>		arbusto	EC
<i>Euphorbia oerstediana</i>		herbácea	EC
<i>Fulica caribaea</i>	gallinazo nativo	ave	VU,EC
<i>Gaussia attenuate</i>	palma de lluvia	palma	EC
<i>Goetzea elegans</i>	matabuey ó manzanilla	árbol	EN,ENF,EC

NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMUN	TIPO DE ORGANISMO	DESIGNACION
<i>Govenia utriculata</i>		orquídea	EC
<i>Guatteria caribaea</i>	haya blanca ó yaya	árbol	EC
<i>Gymnopogon foliosus</i>		yerba	EC
<i>Heliotropium lagoense</i>		herbácea	EC
<i>Hemicarpha micrantha</i>		junco	EC
<i>Hernandia sonora</i>	mago ó toporite	árbol	EC
<i>Hibiscus trilobus</i>		arbusto	EC
<i>Hyeronima clusioides</i>	cedro macho	árbol	EC
<i>Hyperbaena domingensis</i>		bejuco leñoso	EC
<i>Ilex urbaniana</i>	cuero de sapo	arbusto	EC
<i>Ipomoea horsfalliae</i>	campanitas de coral	bejuco	EC
<i>Ipomoea setifera</i>	bejuco de puerco ó gloria de la mañana	bejuco	EC
<i>Lagenocarpus guianensis</i>		junco	EC
<i>Leiphaimos parasitica</i>		herbácea	EC
<i>Leiphaimos portoricensis</i>		herbácea	EC
<i>Licaria triandra</i>	lebisa ó palo misanteco	árbol	EC
<i>Lindsaea portoricensis</i>		helecho	EC
<i>Mabuya mabouya sloanei</i>	Lucía ó Santa Lucía	reptil	VU,EC
<i>Malpighia fucata</i>	olaga ó palo bronco	herbácea	EC
<i>Manilkara pleeana</i>	ausuba, mameyuelo ó zapote de costa	árbol/arbusto	EC
<i>Mappia racemosa</i>		árbol	EC
<i>Maytenus elongata</i>	cuero de sapo	arbusto	EC
<i>Maytenus ponceana</i>	cuero de sapo	arbusto	EC
<i>Melanerpes portoricensis</i>	carpintero de Puerto Rico	ave	END
<i>Mitracarpus villosus</i>		arbusto	EC
<i>Monophyllus redmani portoricensis</i>	murciélago de flores de Puerto Rico ó lengüilargo	mamífero	DD,EC
<i>Mormoops blainvillii cinnamomeum</i>	murciélago barbicacho	mamífero	DD,EC

<b>NOMBRE CIENTIFICO</b>	<b>NOMBRE COMUN</b>	<b>TIPO DE ORGANISMO</b>	<b>DESIGNACION</b>
<i>Mouriri domingensis</i>	caimitillo, guasavara ó murta	árbol/arbusto	EC
<i>Muhlenbergia capillaris</i>	rabo de pavo real ó yerba de pelos	yerba	EC
<i>Myiarchus antillarum</i>	juí de Puerto Rico	ave	END
<i>Myrcia paganii</i>	ausu	árbol	CR,ENF,EC
<i>Najas marina</i>		planta acuática	EC
<i>Nidema ottonis</i>		orquídea	EC
<i>Nymphaea ampla</i>	calderón ó flor de agua	herbácea acuática	EC
<i>Osmunda cinnamomea</i>		helecho	EC
<i>Ossaea scabrosa</i>	camasey	árbol/arbusto	EC
<i>Ossaea scalpta</i>		arbusto	EC
<i>Ottoschulzia rhodoxylon</i>	palo de Rosa	árbol	CR,ENF,EC
<i>Oxyura jamaicensis</i>	pato chorizo	ave	VU,EC
<i>Panicum dichotomilorum</i>		yerba	EC
<i>Passiflora murucuja</i>		bejuco	EC
<i>Pelecanus occidentalis</i>	pelicano pardo	ave	EN,ENF,EC
<i>Peltophryne lemur</i>	sapo concho	anfibio	CR (NP), EN (SP), VUF, EC
<i>Peperomia wheeleri</i>		herbácea	EN,ENF,EC
<i>Persea krugii</i>	canela	árbol	EC
<i>Philodendron fragantissimum</i>		bejuco	EC
<i>Phyla stoechadifolia</i>	poleo	hierba	EC
<i>Piper swartzianum</i>		junco	EC
<i>Piriqueta viscosa</i>		herbácea	EC
<i>Pisonia helleri</i>	escambrón ó uña de gato	arbusto	EC
<i>Pleodendron macranthum</i>	chupacallos	árbol/arbusto	CR,ENF,EC
<i>Polygala cowellii</i>	árbol de violeta	árbol	EC
<i>Polypodium decumanum</i>		helecho	EC
<i>Polystichum echinatum</i>		helecho	EC
<i>Porzana flaviventer</i>	gallito amarillo	ave	DD,EC
<i>Ptenorotus parnellii portoricensis</i>	murciélago bigotudo mayor	mamífero	DD,EC

NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMUN	TIPO DE ORGANISMO	DESIGNACION
<i>Rhexia cubensis</i>	camasey Mariana		EC
<i>Rhynchospora fasciculari subs fascicularis var distans</i>		junco	EC
<i>Rhynchospora microcarpa</i>		junco	EC
<i>Rhynchospora nitens</i>		junco	EC
<i>Rhynchospora odorata</i>		junco	EC
<i>Rhynchospora plumosa</i>		junco	EC
<i>Rhynchospora rariflora</i>		junco	EC
<i>Rollinia mucosa</i>	anón cimarrón	árbol	EC
<i>Sabicea cinerea</i>		bejuco leñoso	EC
<i>Schizaea poepigiana</i>		helecho	EC
<i>Schoepfia arenaria</i>	arana	árbol	EN,VUF,EC
<i>Scleria ciliata</i>		junco	EC
<i>Scleria georgiana</i>		junco	EC
<i>Scleria secans</i>	cortadora de altura	yerba	EC
<i>Scleria verticillata</i>		junco	EC
<i>Setaria magna</i>		yerba	EC
<i>Sloanea amygdalina</i>	motillo	arbusto	EC
<i>Solanum antillarum</i>	guilarte	yerba	EC
<i>Stahlia monosperma</i>	cobana negra	árbol	VU,ENF,EC
<i>Stenoderma rufum darioi</i>	murciélago frutero nativo	mamífero	VU,EC
<i>Sterna dougallii</i>	palometa	ave	VU,VUF,EC
<i>Tachybaptus dominicus</i>	tigua ó zaramagullón chico	ave	DD,EC
<i>Tadarida brasiliensis antillarum</i>	murciélago viejo ó de cola libre	mamífero	LR-ca, EC
<i>Thelypteris hastate var heterodoxa</i>		helecho	EC
<i>Thelypteris verrecunda</i>		helecho	CR,ENF,EC
<i>Tillandsia flexuosa</i>		bromelia	EC
<i>Tillandsia tenuifolia</i>		bromelia	EC
<i>Tournefortia filiflora</i>	nigua	árbol/arbusto	EC
<i>Utricularia juncea</i>		herbácea acuática	EC

<b>NOMBRE CIENTIFICO</b>	<b>NOMBRE COMUN</b>	<b>TIPO DE ORGANISMO</b>	<b>DESIGNACION</b>
<i>Utricularia pusilla</i>		herbácea acuática	EC
<i>Utricularia subulata</i>	grasilla	herbácea acuática	EC
<i>Zanthoxylum thomasianum</i>		árbol	EN,ENF,EC

Leyenda:

BV	bajo vigilancia
CR	en peligro de extinción crítico - Estatal
EC	elemento crítico
EN	en peligro de extinción - Estatal
END	endémico
ENF	en peligro de extinción - Federal
DD	deficiencia de datos
LR-ca	riesgo menor – casi amenazada
NP	población del norte
SP	población del sur
VU	vulnerable - Estatal
VUF	vulnerable – Federal

Tabla 4: Elementos críticos en las áreas cársicas protegidas del sur; según el Programa de Patrimonio Natural del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales

<b>NOMBRE CIENTIFICO</b>	<b>NOMBRE COMUN</b>	<b>TIPO DE ORGANISMO</b>	<b>DESIGNACION</b>
<i>Abutilon commutatum</i>	terciopelo	arbusto	EC
<i>Agelaius xanthomus</i>	mariquita de Puerto rico	ave	EN, ENF, EC
<i>Alsophis portoricensis</i>	culebra corredora	reptil	NAT
<i>Anolis cooki</i>	lagartijo del seco	reptil	EN, EC
<i>Bourreria virgata</i>	roble de guayo	árbol/arbusto	EC
<i>Bulbostylis curassavica</i>		junco	EC
<i>Bulbostylis pauciflora</i>		junco	EC
<i>Caprimulgus noctitherus</i>	guabairo pequeño	ave	EN, ENF, EC
<i>Catesbaea melanocarpa</i>		arbusto	EN, ENF, EC
<i>Chamaesyce cowellii</i>		arbusto	EC
<i>Chelonia mydas</i>	peje blanco	reptil	EN, VUF, EC
<i>Cordia rupicola</i>		árbol/arbusto	EC
<i>Croton nummulariifolius</i>		arbusto	EC
<i>Cynometra portoricensis</i>	oreganillo	árbol	EC
<i>Epicrates inornatus</i>	boa de Puerto Rico ó culebrón	reptil	VU, ENF, EC
<i>Eptesicus fuscus wetmorei</i>	murciélago alioscuro ó marrón mayor	mamífero	EC
<i>Eretmochelys imbricata</i>	carey ó carey de concha	reptil	EN, ENF, EC
<i>Eugenia bellonis</i>		arbusto	EC
<i>Gaussia attenuata</i>	palma de lluvia	palma	EC
<i>Guaiacum sanctum</i>	guayacán blanco ó guayacanillo	árbol	EC
<i>Guapira discolor</i>	barrehorno	árbol	EC
<i>Leptocereus quadricostatus</i>	sebucán ó pitahaya	cactus	EC
<i>Mabuya sloanei</i>	Lucía ó Santa Lucía	reptil	VU, EC
<i>Manilkara pleeana</i>	ausuba, mameyuelo ó zapote de costa	árbol/arbusto	EC
<i>Mitracarpus maxwelliae</i>		arbusto	EN, ENF, EC
<i>Mitracarpus polycladus</i>		arbusto	EN, ENF, EC

<b>NOMBRE CIENTIFICO</b>	<b>NOMBRE COMUN</b>	<b>TIPO DE ORGANISMO</b>	<b>DESIGNACION</b>
<i>Ottoschulzia rhodoxylon</i>	palo de Rosa	árbol	CR,ENF,EC
<i>Oxandra lanceolata</i>	haya prieta	árbol	EC
<i>Peltophryne lemur</i>	sapo concho	anfibio	CR (NP), EN (SP), VUF, EC
<i>Polygala cowellii</i>	árbol de violeta	árbol	EC
<i>Polygala hecatantha</i>		arbusto	EC
<i>Portulaca caulerpoides</i>		hierba	EC
<i>Psychilis krugii</i>		orquídea	EC
<i>Reynosia guama</i>	guamá	árbol	EC
<i>Sabal causiarum</i>	palma de sombrero	palma	EC
<i>Stahlia monosperma</i>	cobana negra	árbol	VU,ENF,EC
<i>Tadarida brasiliensis antillarum</i>	murciélago viejo ó de cola libre	mamífero	LR-ca, EC
<i>Tillandsia flexuosa</i>		bromelia	EC
<i>Tillandsia lineatispica</i>	piñón	bromelia	EC
<i>Trichilia triacantha</i>	bariaco, maricao ó guayabacón	árbol	CR, ENF, EC
<i>Waltheria calcicola</i>		arbusto	EC

Leyenda:

CR	en peligro de extinción crítico – Estatal	NP	población del norte
EC	elemento crítico	SP	población del sur
EN	en peligro de extinción – Estatal	VU	vulnerable - Estatal
ENF	en peligro de extinción – Federal	VUF	vulnerable – Federal
LR-ca	riesgo menor – casi amenazada		
NAT	nativo		

Tabla 5: Elementos críticos en los lentos calizos protegidos; según el Programa de Patrimonio Natural del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales

<b>NOMBRE CIENTIFICO</b>	<b>NOMBRE COMUN</b>	<b>TIPO DE ORGANISMO</b>	<b>DESIGNACION</b>
<i>Prockia crucis</i>	guasimilla	árbol/arbusto	EC
<i>Eleutherodactylus karlschmidti</i>	coquí palmeado	anfibio	CR, EC
<i>Ptenorotus parnellii portoricensis</i>	murciélago bigotudo mayor	mamífero	DD, EC
<i>Eptesicus fuscus wetmorei</i>	murciélago alioscuro ó marrón mayor	mamífero	DD, EC

Leyenda:

CR            en peligro de extinción crítico – Estatal  
 EC            elemento crítico  
 DD            deficiencia de datos

Tabla 6: Elementos críticos en las áreas cársicas protegidas de las islas limítrofes; según el Programa de Patrimonio Natural del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales

NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMUN	TIPO DE ORGANISMO	DESIGNACIÓN
<i>Abutilon commutatum</i>	terciopelo	arbusto	EC
<i>Agelaius xanthomus</i>	mariquita de Puerto rico	ave	EN,ENF,EC
<i>Bulbostylis curassavica</i>		junco	EC
<i>Caesalpinia monensis</i>	mato negro		EC
<i>Caesalpinia portoricensis</i>	mato negro		EC
<i>Chamaesyce cowellii</i>		arbusto	EC
<i>Chamaesyce monensis</i>	lechecillo de Mona	arbusto	EC
<i>Chamaesyce orbifolia</i>	lechecillo	herbácea	EC
<i>Cyclura cornuta</i>	iguana de la Mona	reptil	EN, VUF, EC
<i>Cynanchum monense</i>		bejuco	EC
<i>Epicrates monensis monensis</i>	boa de Mona	reptil	EN, VUF, EC
<i>Falco peregrinus anatum</i>	falcón peregrino	ave	CR, EC
<i>Guaiacum sanctum</i>	guayacán blanco ó guayacanillo	árbol	EC
<i>Guapira discolor</i>	barrehorno	árbol	EC
<i>Harrisia portoricensis</i>	higo chumbo	cactus	VU, VUF, EC
<i>Mabuya sloanei</i>	Lucía ó Santa Lucía	reptil	VU,EC
<i>Morisonia americana</i>	palo de peo		EC
<i>Mormoops blainvillii cinnamomeum</i>	murciélago barbicacho	mamífero	DD,EC
<i>Opuntia monilliformis</i>	tuna	cactus	EC
<i>Portulaca caulerpoides</i>		herbácea	EC
<i>Pseudophoenix sargentii</i>		palma	EC
<i>Psychilis krugii</i>		orquídea	EC
<i>Schoepfia chrysophylloides</i>		arbusto	EC

<b>NOMBRE CIENTIFICO</b>	<b>NOMBRE COMUN</b>	<b>TIPO DE ORGANISMO</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>
<i>Sphaerodactylus micropithecus</i>	gecko o salamanita de la Isla de Monito	reptil	CR, ENF, EC
<i>Ziziphus taylorii</i>		arbusto	EC

Leyenda:

CR	en peligro de extinción crítico – Estatal
DD	deficiencia de datos
EC	elemento crítico
EN	en peligro de extinción – Estatal
ENF	en peligro de extinción – Federal
VU	vulnerable – Estatal
VUF	vulnerable – Federal

Tabla 7: Especies de murciélagos, alimento y refugio diurno<sup>1</sup>

<b>NOMBRE CIENTIFICO</b>	<b>FUENTE ALIMENTARIA</b>	<b>REFUGIO DIURNO</b>
murciélago pescador – <i>Noctilio leporinus mastivus</i> )	peces e insectos	Reside en cuevas y árboles huecos
murciélago bigotudo menor – <i>Pteronotus quadridens fuliginosus</i>	insectos	Reside en cuevas
murciélago bigotudo mayor – <i>Pteronotus parnelli portoricensis</i>	insectos	Reside en cuevas
murciélago barbicacho – <i>Mormoops blainvilli cinnamomeum</i>	insectos	Reside en cuevas
murciélago frutero común – <i>Artibeus jamaicensis jamaicensis</i>	frutas y hojas	Reside en cuevas, árboles huecos y arboledas
murciélago frutero nativo – <i>Stenoderma rufum darioi</i>	frutas	Reside en arboledas
murciélago alioscuro – <i>Eptesicus fuscus wetmorei</i>	insectos	Reside en cuevas y arboledas
murciélago rabipeludo – <i>Lasiurus borealis minor</i>	insectos	Reside en arboledas
murciélago viejo – <i>Tadarida brasiliensis antillarum</i>	insectos	Reside en cuevas
murciélago de techos – <i>Molossus molossus fortis</i>	insectos	Reside en casas y frondas de palmeras
murciélago hocico de cerdo - <i>Brachyphylla cavernarum intermedia</i>	insectos y frutas	Reside en cuevas
murciélago de las flores - <i>Erophylla sezekorni bombifrons</i>	frutas y polen	Reside en cuevas
murciélago lengüilargo - <i>Monophyllus redmani portoricensis</i>	polen	Reside en cuevas

<sup>1</sup> Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. 1983. Los murciélagos de Puerto Rico.

Tabla 8: Categorías primarias y criterios utilizados en la primera etapa del estudio

	<b>GEOLOGIA</b>	<b>HIDROLOGIA*</b>	<b>BIOLOGIA</b>
Criterios de aplicación (Subcategorías)	1. Región roca caliza	1. Áreas o zonas de recarga	1. Áreas con gran biodiversidad
	2. Permeabilidad de los suelos	2. Transmisividad de los acuíferos	2. Áreas designadas como hábitat crítico
	3. Cuevas y Sumideros	3. Presencia de manantiales	3. Regiones con especies endémicas, vulnerables o en peligro de extinción
		* Para la franja caliza del sur se sustituyó esta categoría por el de continuidad (cercanía a áreas naturales protegidas)	

Tabla 9: Categorías primarias y criterios utilizados en la segunda etapa del estudio

	<b>GEOLOGIA</b>	<b>HIDROLOGIA</b>	<b>BIOLOGIA</b>	<b>VALOR AÑADIDO</b>
Criterios de aplicación (Subcategorías)	1. Extensión de la roca caliza	1. Áreas o zonas de recarga, según el USGS	1. Áreas con gran biodiversidad de elementos críticos	1. Espacios cárnicos con alto potencial recreativo y turístico
	2. Permeabilidad de los suelos	2. Transmisividad de los acuíferos	2. Áreas designadas como hábitat crítico	2. Paisajes con calidad escénica
	3. Presencia de cuevas y sumideros	3. Presencia de manantiales, ríos y quebradas	3. Áreas con especies endémicas, vulnerables o en peligro de extinción	3. Presencia de valores arqueológicos o culturales
	4. Edad u origen de lentes calizas	4. Áreas con valor hidrológico, según identificadas por la Oficina del Plan de Aguas del DRNA	4. Áreas con prioridad de conservación, según definidas por el Programa de Patrimonio Natural del DRNA	
	5. Delimitación de áreas cárnicas, según la JP			
	6. Presencia de rasgos cárnicos de particular rareza			

## Glosario

### A

Abiótico – perteneciente a la parte no viviente de un ecosistema.

Acuífero – parte del subsuelo compuesto por una o más formaciones geológicas que, debido a la porosidad, permeabilidad o fracturación del material terráqueo que la forma y sus condiciones hídricas, almacena agua subterránea que fluye a través de la formación y en cantidad que puede ser extraída. Los acuíferos pueden estar formados por materiales diversos, incluyendo depósitos aluviales y marinos, sedimentarios no-consolidados, rocas sedimentarias consolidadas, como calizas y areniscas y en el sistema de fracturas de rocas de origen volcánico intrusivo y metamórfico. Aunque una formación geológica puede almacenar agua, si esta no fluye, no constituye un acuífero.

Acuífero confinado - acuífero donde el nivel del agua está limitado superior e inferiormente por estratos impermeables, o por estratos de permeabilidad mucho menor que la del propio acuífero.

Acuífero Inferior, Profundo o Artesiano - se refiere al Acuífero Inferior de la Región Norte de Puerto Rico, formado por rocas calizas que se extienden desde Vega Alta hasta Arecibo, pero predomina en la zona de Manatí a Barceloneta. Gran parte del mismo es confinado por depósitos de la Caliza Cibao, resultando en que el nivel potenciométrico exceda la elevación del fondo de la capa confinante. Inicialmente, pozos hincados en este acuífero en la zona de Manatí y Barceloneta fluían sin necesidad de bombeo con presiones de hasta 100 libras por pulgada cuadrada, pero este efecto ha sido agotado por las extracciones excesivas y reducciones en la recarga del acuífero.

Acuífero no-confinado - acuífero cuya superficie superior no está limitada por materiales impermeables sino que está expuesto a la presión atmosférica, a través de los poros del material que lo forma.

Acuífero Superior, Llano o Freático - se refiere al Acuífero Superior de la Región Norte de Puerto Rico, el cual no es confinado y está formado por depósitos aluviales y rocas calizas que se extienden desde Bayamón hasta Arecibo, en una serie de valles ribereños.

Adaptación – una adaptación biológica en una estructura anatómica, es un proceso fisiológico o un rasgo del comportamiento de un organismo que

ha evolucionado durante un período de tiempo mediante selección natural de tal manera que incrementa sus expectativas a largo plazo para reproducirse con éxito.

Aguas de escorrentía - parte de la lluvia que discurre sobre la superficie del terreno y eventualmente forma las quebradas y los ríos. Se refiere también al agua descargada durante una inundación.

Aguas subterráneas - las aguas que se encuentran en una formación o unidad geológica bajo la superficie de la tierra, bajo el cauce o lecho de un río, quebrada o arroyo, o bajo el fondo del mar, lago, represa u otro cuerpo de agua, independientemente de cual fuere su origen o estado, o de la formación o unidad geológica en la cual se encuentren, fluyan, percolen o se muevan. Se considera también agua subterránea toda la que existe en el interior de cuevas y cavernas.

Área con prioridad de conservación – aquellas que constituyen un conjunto de áreas naturales en Puerto Rico, sus islas municipios o cayos asociados, identificados por el Programa de Patrimonio Natural por lo singular de su biodiversidad, sus comunidades naturales (incluyendo humedales), y por los hábitats que albergan para el beneficio de la vida silvestre y las especies en peligro de extinción o vulnerables y las especies migratorias

Área de recarga – lugar específico en el área superficial de una cuenca en la cual parte o el total de la escorrentía neta se infiltra al subsuelo, hacia los acuíferos. La Provincia el Carso Norteño incluye las áreas de recarga del Acuífero Inferior (Artesiano) y parte de las áreas de recarga del Acuífero Superior (Llano o Freático).

Área natural protegida – área que ostenta alguna designación (bosque estatal, reserva natural, refugio de vida silvestre, etc.) con la que se pretende reconocer su importancia ecológica, así como su protección y conservación.

Artesiano - término comúnmente utilizado para referirse a pozos o acuíferos de los cuales el agua emana por presión hidráulica sin necesidad de bombearse.

## **B**

Biodiversidad – término con el que se hace referencia a la amplia variedad de seres vivos sobre la Tierra y los patrones naturales que conforma, resultado de miles de millones de años de evolución, según procesos naturales; así como de la influencia creciente de las actividades del ser

humano. La biodiversidad comprende igualmente la variedad de ecosistemas y las diferencias genéticas dentro de cada especie que permiten la combinación de múltiples formas de vida, y cuyas mutuas interacciones y con el resto del entorno, fundamentan el sustento de la vida sobre el planeta.

Biótico – que posee vida o es derivado de seres vivos.

## C

Caducifolia - dicho de los árboles y de las plantas cuyas hojas se les caen al empezar una estación desfavorable.

Calificación – instrumento para designar usos de terrenos, sinónimo de zonificación.

Caliza – piedra sedimentaria compuesta principalmente por carbonato de calcio. Normalmente se origina a través de la acumulación de los restos calcáreos de animales marinos. Dado que la caliza se disuelve fácilmente por el dióxido del carbono en agua, las cuevas son más comunes en caliza que en cualquier otro tipo de piedra, la caliza se disuelve más rápidamente cuando el volumen de dióxido de carbono es más alto en la superficie de la capa freática del agua.

Cantera – sitio donde se lleva a cabo una actividad de extracción, excavación y remoción de roca de distinto origen y tamaño para obras varias que requieren el uso de explosivos, martillo hidráulico, cortador hidráulico (*ripper*) o cualquier otro método conocido y aceptado para quebrantar la roca.

Cañón – desfiladero o barranca de paredes empinadas creada por la acción de corrientes de agua mediante el desgaste y la fragmentación.

Carsificación – disolución del carbonato de calcio por la acción del dióxido de carbono presente en una solución acuosa.

Carso – término utilizado para definir un área o una región que posee una topografía distintiva formada por la disolución de la roca, principalmente calizas. Este fenómeno geológico fue descrito primero en el área de Yugoslavia denominada 'Kras' (traducido a 'karst') y desde entonces todas las áreas con una situación geológica similar se han llamado regiones o áreas cársicas.

Carso de cono – paisaje cársico dominado por colinas cónicas de poca altura. Entre las colinas cónicas se observan valles o dolinas.

Caverna – ver significado de cueva.

Clasificación – ordenación del suelo en tres (3) categorías básicas: suelo urbano, suelo urbanizable y suelo rústico.

Conservación – uso racional y sustentable de los recursos naturales y culturales, sin menoscabo del ambiente para el disfrute de las generaciones actuales y venideras.

Cueva – cavidad natural, nicho, cámara o una serie de cámaras y galerías bajo la superficie de la tierra, dentro de una montaña o formada mediante la proyección horizontal de rocas en un acantilado.

## **Ch**

Chimenea – conducto circular que asciende del techo de una cueva hacia la superficie.

## **D**

Dolina - depresión en el terreno formada por la acción disolvente del agua subterránea al percolar a través de fracturas en la roca caliza. Por lo general tiene forma de plato, embudo o caldero. En Puerto Rico se utilizan los términos dolina y sumidero como sinónimo, prefiriéndose el uso de sumidero.

## **E**

Ecosistema – unidad funcional donde se integran en forma compleja los elementos vivos y no vivos del ambiente.

Edáfico - pertinente al suelo.

Elemento crítico – reconocimiento hecho a una especie de especial valor por alguno o varios de los siguientes atributos, de acuerdo a la comunidad científica: su valor patrimonial en Puerto Rico, su merma paulatina por la explotación de uso de la especie o contra su hábitat, su rareza, o su designación legal como especie vulnerable o en peligro de extinción. Esta consideración constituye una prioridad en el análisis y toma de decisiones asociadas a: las tareas de inventario biológico, la

identificación y delimitación de áreas naturales con méritos para ser protegidas, así como la identificación de estrategias adecuadas de manejo afines con la conservación, preservación o restauración de las áreas naturales que le sirven de hábitat.

**Erosión** - proceso físico o químico mediante el cual el viento, la lluvia y la escorrentía remueven partículas de suelo y rocas. Mediante este proceso de desgaste se destruyen las montañas provocando la disminución de éstas y resultando en un paisaje poco ondulado o llano. La formación de la llanura nunca se concreta ya que según se va perdiendo pendiente las aguas de los ríos y lluvia dejan de remover tierra.

**Escleromorfo** - planta cuyas hojas (o tallos, si faltan las hojas) son de textura dura, usualmente con cutícula gruesa y muchas fibras.

**Escorrentía superficial** – es el agua de lluvia movida por la fuerza de gravedad sobre las superficies inclinadas.

**Especie crítica** – especie que enfrenta un riesgo extremadamente alto de extinción en el futuro inmediato.

**Especie endémica** – especie que vive exclusivamente en un país y ha sido formada por evolución de especies previamente existentes en él.

**Especie en peligro de extinción** – aquellas especies vulnerables y en peligro de extinción cuyos números poblacionales son tales que a juicio del Secretario (del DRNA) requieren especial atención para asegurar su perpetuación en el espacio físico donde existen.

**Especie exótica** – aquellas especies que han sido introducidas y que de acuerdo con el criterio del Secretario del DRNA no son parte de la flora o fauna nativa o migratoria del Estado Libre Asociado de Puerto Rico.

**Especie nativa** – especie cuya distribución y reproducción no está limitada al Estado Libre Asociado de Puerto Rico y que no son especies exóticas.

**Extracción** – actividad o acción de separar y sacar material de la corteza terrestre de su lugar original, manual o mecánicamente.

## **F**

**Foliar** – relativo a las hojas.

## **G**

Geología - ciencia que estudia la historia de la tierra y de la constitución, origen y formación de los materiales que la componen.

## **H**

Hábitat – terrenos cuyas condiciones ecológicas permiten la existencia y reproducción de poblaciones de vida silvestre. Excluye los terrenos urbanizados e incluye, pero no se limita, a bosques, humedales y praderas herbáceas, entre otros.

Hidrografía - ciencia que trata la descripción y medición de elementos hidrológicos de la superficie del planeta o de un área específica. Incluye elementos descriptivos como cartografía de ríos y embalses y también elementos analíticos como son los estudios de la profundidad en cuerpos de agua.

Hidrología - ciencia que estudia la interrelación entre los elementos del ciclo hidrológico, incluyendo las aguas superficiales y subterráneas, su ocurrencia, movimiento, calidad y disponibilidad.

Humedal – áreas cuyos suelos están saturados con agua durante todo o parte del tiempo y que alberga plantas características de suelos hídricos. Son excelente filtros biológicos y reducen el movimiento de nutrientes hacia el mar.

Humedales estuarinos - humedales en la zona costanera de interfase entre el agua fresca y salada, usualmente asociados a la desembocadura de ríos o zonas donde los acuíferos afloran cerca de la costa, proveyendo agua para mantener niveles de inundación o de humedad requeridos para la supervivencia de las plantas que habitan la zona. Generalmente son sistemas de marea en un ambiente de energía baja, donde la salinidad del agua es mayor que 0.5 partes por mil y es variable debido a la evaporación y a la mezcla del agua salada con el agua dulce.

Humedales palustres – humedales de agua dulce.

## **I**

Impermeabilidad - propiedad de los materiales que limita la transferencia o acumulación de agua. En los acuíferos son capas de barro (arcilla) o

roca sin fracturas que por su naturaleza no permiten el paso o almacenaje de agua.

**Intrusión salina** - proceso mediante el cual el agua salina penetra en un acuífero. En la zona costanera el agua de mar puede penetrar en los acuíferos, a través de los poros del terreno en la costa o en los bancos de canales de ríos o quebradas aguas arriba de la costa. La intrusión salina es un fenómeno natural, consecuencia de las mareas y de la elevación del mar respecto al nivel freático, así como de la porosidad de los acuíferos en la zona costanera. El efecto se intensifica avanzando tierra adentro una cuña de agua salada cuando se remueve por bombeo un exceso sobre la recarga del agua fresca en el acuífero o se bombea a altas intensidades promoviendo avances temporales de la cuña de agua salina ("upconing").

**Islas oceánicas** - islas alejadas de los continentes y que tienen un origen distinto de estos. Pueden aparecer cuando una montaña o dorsal submarina se eleva sobre la superficie del mar.

## **K**

**Karren** – púas o crestas resultado de la disolución de la superficie de la roca y cuya altura puede variar desde unos centímetros hasta 3 metros, conocido comúnmente como "diente de perro".

## **L**

**Laguna** – cuerpo de agua generalmente cerrado de tamaño menor que un lago.

**Lapiaz** – ver definición de karren.

## **M**

**Manantial ("blue hole")** – punto de emanación del agua subterránea que luego discurre por la superficie. En general, el agua en el acuífero que suple un manantial emana en puntos donde la elevación del terreno es menor que la elevación del nivel freático en el acuífero. También puede proceder de un acuífero artesiano a presión al filtrarse a través de fracturas en la roca. A veces se observa en el punto de emanación un color azul resultado de la dispersión de la luz solar por las moléculas de agua o por presencia de algas calcáreas.

Manejo – conjunto de acciones de ordenación, administración y control que aseguran el mantenimiento del estado natural de un área en equilibrio. En ciertas ocasiones el manejo implica intervenciones deliberadas para recuperar el referido equilibrio (manejo del fuego en los casos que es un pulso natural del ecosistema, reintroducción de especies desaparecidas en el área, control de las especies invasoras, etc.).

Material de la corteza terrestre – todo material natural en estado consolidado o no, el cual no está reglamentado como mineral económico. Incluye, pero no está limitado a: grava, arena, piedra, tierra, sílice, calcita, arcilla y cualquier otro componente similar de la corteza terrestre en terrenos públicos y privados.

Meseta – ver definición de torre.

Meteorización – proceso mediante el cual se desintegran y descomponen las rocas.

Mogote – lomas o montañas calizas de configuración cónica con pendientes variables desde suaves hasta abruptas, a veces perforadas por cuevas y que sobresalen en llanuras aluviales. En Puerto Rico también se le denomina pepino.

Movimientos tectónicos – fuerzas que operan en el interior de la tierra y que hacen que zonas se levanten, sacando los sedimentos a la superficie. La elevación puede ser gradual por el arqueamiento de la tierra o como resultado de presiones laterales fuertes.

## **P**

Penillanura – tierras llanas resultantes del desgaste de montañas, en las que quedan hacia su centro promontorios de roca dura, llamados monadocks, restos de las elevaciones erosionadas.

Pepino – ver definición de mogote.

Percolación - flujo de un líquido a través de un medio poroso no saturado, por ejemplo de agua en el suelo, por la acción de la fuerza de gravedad.

Permeabilidad - propiedad del suelo o las rocas para transmitir un fluido.

Plutonismo – acumulación de roca fundida bajo la superficie de la tierra.

Porosidad - propiedad de los materiales que se define por la razón entre el volumen que ocupan los poros y el volumen total. La porosidad puede ser primaria (los espacios normales entre las partículas relativamente uniformes) o secundaria (debida a cavidades causadas por solución o fracturas).

Preservación – protección mediante la no intervención o utilización de los recursos naturales y culturales, únicos o importantes, con el propósito de mantener su condición natural y las características únicas y esenciales, para garantizar su permanencia y perpetuidad

Proceso orogénico – proceso formador de montañas.

## **Q**

Quebrada – río pequeño o riachuelo, de poco caudal, no apto para la navegación o la pesca.

## **R**

Recarga - cantidad de agua que recarga un acuífero desde la superficie, por infiltración natural o inducida.

Restauración – propiciar las características y condiciones de un área perturbada al estado en que se encontraba, o a uno de mayor valor ecológico, mediante manipulación y/o regeneración natural, que culmine en la conservación o preservación o revertir en lo posible las características de una propiedad alterada a su estado original. Es además, el conjunto de operaciones llevadas a cabo para recuperar la forma original de un edificio, estructura o lugar de valor histórico o arquitectónico basándose en documentación o conocimiento comparables. No admite en el proceso aportaciones de nuevo diseño. Las reparaciones o alteraciones reproducen las condiciones originales de los elementos tratados.

Río - corriente de agua continua, y más o menos caudalosa, que desemboca en otra corriente o en el mar. Los ríos existen de forma perenne o intermitente. Los ríos perennes tienen agua todo el año; los intermitentes, sólo durante la época de lluvia.

Roca caliza - tipo común de roca de sedimentaria, compuesta mayormente por cristales de calcita (carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$ ). Cuando se calcina (se lleva a alta temperatura) da lugar a cal (óxido de calcio,  $\text{CaO}$ ). La roca caliza cristalina metamórfica se conoce como mármol. Muchas variedades de caliza se han formado por la unión de capas o

conchas de mar, formadas por las secreciones de  $\text{CaCO}_3$  de distintos animales marinos. La creta es una variedad porosa y con grano fino compuesta en su mayor parte por caparazones de foraminíferos; la lumaquela es una caliza blanda formada por fragmentos de concha de mar. Una variedad, conocida como caliza ovolítica, está compuesta por pequeñas concreciones ovoides, cada una de ellas contiene en su núcleo un grano de arena u otra partícula extraña alrededor de la cual se ha producido una deposición calcárea. Ciertos tipos de caliza se usan en la construcción, como la piedra en bloque, en laminas o triturada.

Roca Carbonatada – ver definición de roca caliza.

Roca Sedimentaria - roca formada por materiales depositados en capas que pueden ser consolidados (por ejemplo, calizas) o no-consolidados (por ejemplo, aluvión).

## **S**

Sedimentación - Proceso geológico y geomorfológico por medio del cual materiales transportados por el viento o el agua se depositan sobre una superficie.

Suelo Rústico Especialmente Protegido – es aquel no contemplado para uso urbano o urbanizable en un Plan Territorial y que por su especial ubicación, topografía, valor estético, arqueológico o ecológico, recursos naturales únicos u otros atributos, se identifican como un terreno que nunca debería utilizarse como suelo urbano.

Sumidero – cavidad o conducto en el terreno producido por la disolución de la roca caliza o el desplome del techo de una cueva o caverna que permite la infiltración rápida de la escorrentía al subsuelo y recarga el agua subterránea.

## **T**

Topografía - descripción de los rasgos de la superficie de cualquier área, pudiendo incluir no sólo formas del relieve natural, sino también los aspectos y objetos antropogénicos.

Torre – tipo de topografía cársica, común en los trópicos, en la cual mogotes residuales ascienden como montículos de paredes empinadas y cúspides planas.

Transmisividad - propiedad de un acuífero para transmitir agua, definida por el producto de la conductividad hidráulica (K) del material que forma el acuífero y el espesor saturado (b) del acuífero, expresada en la ecuación  $T=(K)(b)$  para una unidad del gradiente hidráulico, con unidades en pies cuadrados por día (cuando K es en pies por día).

## **V**

Valle aluvial – llanura formada por la deposición de sedimentos arrastrados por las corrientes de agua.

Vientos alisios - corrientes atmosféricas permanentes en la superficie de la Tierra generadas por el calor ecuatorial. En Puerto Rico los vientos alisios provienen predominantemente del este-noreste y son la fuente principal del aire húmedo que resulta en aguaceros frecuentes en las laderas de las montañas debido al efecto orográfico.

Vulcanismo – salida de roca fundida desde el interior de la tierra hacia la superficie a través de volcanes.

## **Z**

Zanjón – trinchera de solución en roca caliza que puede variar desde unos pocos centímetros hasta 8 metros en anchura, entre 1 y 4 metros de profundidad y tener 100 metro o más de largo. Se forman por el ensanchamiento y profundización de las fallas por el proceso de disolución.

## Bibliografía

Acevedo, M. 1996-97. Carsología General y Aplicada con notas sobre los cursos de Puerto Rico. Escrito desarrollado para un curso ofrecido en la UMET.

Acevedo Rodríguez, P. y Axelrod, F.S. 1999. "Annotated Checklist for the tracheophytes of Río Abajo forest reserve, Puerto Rico". Caribbean Journal of Science. 35: 265-285.

Altschuler, D.R. "Pisadas y Huellas". Periódico El Nuevo Día, 26 de enero de 2003.

Álvarez, M., Acevedo Rodríguez, P. y Vázquez Otero, M. 1983. "Quantitative description of the structure and diversity of the vegetation in the limestone forest of Río Abajo Forest". Puerto Rico Department of Natural Resources, Progress Report, Project W-10.

B.A. Blackwell and Associates LTD. 1995. Literature Review of Management of Cave/Karst Resources in Forest Environments. Vancouver, British Columbia.

Baijal, Vivek S. 1995. "Protecting Endangered Species: A GIS Decision Support System". GIS'95 Symposium, Vancouver, British Columbia.

Beard, J.S. 1949. "Natural vegetation of the windward and leeward islands". Oxford Forestry Memoirs, 21:1-192.

Beard, J.S. 1955. "The classification of tropical America vegetation types". Ecology, 36:89-100.

Beck, B. 1984. 1984. Sinkhole Terminology in Proceedings of the First Multidisciplinary Conference on Sinkholes. Orlando, FLA. 15-17 Oct.

Bennett, G.D. y Giusti, E.V. 1976. Water resources of the North Coast Limestone Area, Puerto Rico. US Geological Survey Water Resources Investigations Report 75-42. 47 pp.

Cappiella, Karen y Ken Brown. 2001. Watershed Environmental Sensitivity Index (ESI). Center for Applied Research and Environmental Systems (CARES). Missouri, USA.

Cardona Bonet, Walter A. 1985. Islotes de Borinquen: (Amoná, Abey, Piñas, Sikeo y otros) Notas para su Historia.

Cherry, G.S. 2001. Simulation of flow in the Upper North Coast Limestone aquifer, Manatí-Vega Baja Area, Puerto Rico. US Geological Survey Water resources Investigations Report 00-4266. 82 pp.

Chinae, J.D. 1980. The Forest Vegetation of the Limestone Hills of Northern Puerto Rico. Cornell University, Ithaca, NY. 70 p.

Cook, K., Faulkner, A., Hall, K., Mooney, P., Healey, M. y Schreier, H. 1994. "A georeferenced information system for environmental sensitive area assessment". GIS'94 Symposium, Vancouver, British Columbia.

Cruz Báez, A. D., Guilbe, C. J. y López, A .R. 2002. Vive la geografía de nuestro Puerto Rico. Editorial Cordillera, Inc. 2002.

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. 2008. Plan Integral de Recursos de Agua de Puerto Rico.

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. 2007. Documento de designación del hábitat natural crítico esencial del coquí llanero, *Eleutherodactylus juanariveroi* (Ríos-López y Thomas): Una nueva especie para Puerto Rico.

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. 1998. Guías de reforestación para las cuencas hidrográficas de Puerto Rico.

Departamento de Recursos Naturales, Área de Investigaciones Científicas. 1980. Suplemento Técnico para la Reserva Natural Caja de Muertos. 1980.

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. Borrador del Reglamento para la protección, conservación, uso y manejo de las cuevas, cavernas y sumideros.

Dugger, K.R. 1979. Aspectos ecológicos del Bosque de Guánica. Departamento de Recursos Naturales, Proyecto W-8. 37p.

Estudios Técnicos, Inc. 2004. Primer Estudio sobre el impacto económico de la Industria de Agregados (Resumen Ejecutivo). 48 p.

Estudios Técnicos, Inc. 2004. Primer Estudio sobre el impacto económico de la Industria de Agregados (Informe Final). 86 p.

Estudios Técnicos, Inc. 2004. El impacto económico de la Industria de Agregados (Resumen Ejecutivo). 35 p.

Estudios Técnicos, Inc. 2004. El impacto económico de la Industria de Agregados (Mapas). 11 p.

Ewell, J.J. y Whitmore, J.L. 1973. The Ecological Life Zones of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. Forest Service Research Paper ITF-18. U.S. Department of Agriculture. 72 pp. and map.

Figueroa Colón, J. 1995. "Phytogeographical trends, center of high species, richness and endemism and the question of species extinction in the native flora of Puerto Rico". The Scientific Survey of Puerto Rico and the Virgin Islands: An eighty year assessment of the island's natural history, J. Figueroa Colón ed. Annals of the New York Academy of Science. New York.

Fisher, Elaine. 2004. "Island Ecosystems Conservation and Sustainable Use: Problems and Challenges". INSULA: International Journal of Island Affairs, Año 13 (Special Edition).

Ford, D. y Williams, P. 2007. Karst Hydrogeology and Geomorphology. John Wiley and Sons, Ltd.

Frank, E., Wicks, C., Mylroie, J., Troester, J., Calvin-Alexander, E. (Jr.) y Carew, J. 1998. "Geology of Isla de Mona, Puerto Rico"; Journal of Cave and Karst Studies.

Garrido, O., Wiley, J. y Kirkconnell, A. 2005. "The genus Icterus in the West Indies". Ornithology Neotropical, 16:449-470.

Gelabert Marqués, Pedro A. 1973. "La geología ambiental aplicada a Puerto Rico". Boletín de la Academia de Artes y Ciencias de Puerto Rico, Tomo IX-Números 3 y 4:169-192.

Gibson, Lorna J. 1990. "Species on Islands: Evidence of Changes". Geoscience Reports, No. 12.

Girón, Antonio M. 1972. "Disoluciones y cavidades kársticas en Puerto Rico". Urbe.

Giusti, E.V. 1978. Hydrogeology of the karst of Puerto Rico: US Geological Survey Professional Paper 1012, 68 pp.

Gómez-Gómez, F. 1998. "Hydrochemistry of the south coastal plain aquifer system of Puerto Rico and its relation to surface water recharge". Regional Aquifer System of the United States: Aquifers of the Caribbean Islands, editado por Gómez-Gómez, F., Quiñones-Aponte, V., y Johnson, A.I. American Water

Association Monograph Series No. 15. International Symposium on Tropical Hydrology, July 1990, San Juan, Puerto Rico. p. 57-75.

Hengstenberg, D.W. y Vilella, F.J. 2004. Reproductive biology, abundante, and movement patterns of the Broad-winged Hawk in a limestone forest of Puerto Rico. Final Report, USGS Cooperative Fish and Wildlife Research Unit, Cooperative Agreement No. 14-45-009-1543-59. Mississippi State, Mississippi, USA.

Instituto Ambiental COTICAM de Puerto Rico. 2002. Well Head Protection for Barceloneta – Manatí Environmental Protection Project.

Joglar, Rafael L. (Editor). 2005. Biodiversidad de Puerto Rico: vertebrados terrestres y ecosistemas. Editorial del Instituto de Cultura Puertorriqueña. San Juan, Puerto rico

Junta de Planificación de Puerto Rico. 2004. Situación de los planes de ordenamiento municipales.

Langer, William H. Potential Environmental Impacts of Quarrying stone in Karst: A Literature Review. U.S. Geological Survey Open-File Report 01-0484.

Lean, Geoffrey. 2004. "De un vistazo: mares, océanos e islas pequeñas". Nuestro Planeta: Mares, Océanos e Islas Pequeñas, Tomo 15, No. 1.

Legrand, H.E. 1973. "Hydrological and Ecological Problems of Karst Regions". Science, Volume 179, Number 4076.

Lugo, A.E. 1991. "Dominancia y diversidad de plantas en Isla de Mona". Acta Científica, 5:65-71.

Lugo, A.E., Miranda Castro, L., Vale, A., López, T.M., Fernández Pietro, E., García Martínó, A., Puente Rolón, A.R., Tossas, A.G., McFarlane, D.A., Miller, T., Rodríguez, A., Lundberg, J., Thomlinson, J., Colón, J., Schellekens, J.H., Ramos, O. y Helmer, E. 2001. Puerto Rican Karst-A Vital Resource. Gen. Tech. Report WO-65. U.S. Department of Agriculture.

Monroe, Watson H. 1976. The Karst Landforms of Puerto Rico: US Geological Survey Professional Paper 899.

Monroe, Watson H. 1980. Geology of the Middle Tertiary Formations of Puerto Rico: US Geological Survey Professional Paper 953.

Monroe, Watson H. 1980. Some Tropical Landforms of Puerto Rico: US Geological Survey Professional Paper 1159.

Oberle, Mark W. 2002. Puerto Rico's Birds in Photographs.

Olcott, P.G. 1997. Puerto Rico and the Virgin Islands, in Ground water atlas of the United States: Hydrologic Investigations Atlas 730-N. p. N32-N35.

Peterson, Allan P. (M.D.). 2005. World Birds Taxonomic List: Genera and Species. ([www.zoonomen.net/avtax/troc.html](http://www.zoonomen.net/avtax/troc.html)).

Picó, Rafael. 1975. Nueva geografía de Puerto Rico: física, económica y social.

Puertorriqueños en Defensa del Patrimonio Nacional. 2002. "Terrenos del Karso que serían expropiados". Boletín: Quieren quitarnos lo último que nos queda. Año 1, Número 1.

Queen, Lloyd P. y Charles R. Blinn. 1993. The Basics of Geographic Information Systems. Minnesota Extension Service.

Raffaele, Herbert, James Wiley, Orlando Garrido, Allan Keith y Janis Raffaele, 1998. A guide to the Birds of the West Indies.

R.G. LaFleur, Allen & Unwin Inc. 1984. Groundwater as Geomorphic Agent, Chapter 10:227-293.

Rivero, Juan A. 1998. Los anfibios y reptiles de Puerto Rico (2da Edición).

Rodríguez Durán, Armando. 1987. Los murciélagos de Puerto Rico (Espeleología, Boletín de la Sociedad Espeleológica de Puerto Rico).

Smith, Gary K. 1998. Glossary of caving terms. (<http://wasg.iinet.net.au/glossary.html>)

Snyder, N.F.R., J. W. Wiley y C.B. Kepler. 1987. The parrots of Luquillo: natural history and conservation of the Puerto Rican parrot. WFVZ, Los Angeles, CA. 384, pp.

Stone, Dan y Gleary M. Schindel. 2002. "The application of GIS in support of land acquisition for the protection of sensitive groundwater recharge properties in the Edwards Aquifer of South-Central Texas". Journal of Caves and Karst Studies, 64(1): 38-44.

Strahler, A. 1987. Geología Física. Ediciones Omega, S.A.

The Nature Conservancy. 2003. An Ecoregional Plan for Puerto Rico: Preliminary Results.

Torres-González, S., Planert, M. y Rodríguez, J.M. 1996. Hydrogeology and simulation of ground-water flow in the upper aquifer of the Río Camuy to Río Grande de Manatí area, Puerto Rico. US Geological Water Resources Investigations Report 95-4286. 102 p.

Troester, J.W., Elizabeth I. White y William B. White. 1984. "A comparison of sinkhole depth frequency distributions in temperate and tropic karst regions". Proceedings of the First Multidisciplinary Conference of Sinkholes, Orlando, Florida, USA. 15-17 de octubre de 1984.

Trudgill, S. 1985. Limestone Geomorphology. Longman Inc., New York. 196p.

United Nations Environment Program - Convention on Biological Diversity – AD HOC Technical Expert Group on Island Biodiversity. Status and Trends of, and Major Threats to, Island Biodiversity, UNEP/CBD/AHTEG-IB/1/3/28 July 2004. ([www.biodiv.org/doc/meetings/island/tegib-01/official/tegib-01-02-en.pdf](http://www.biodiv.org/doc/meetings/island/tegib-01/official/tegib-01-02-en.pdf))

United States Department of Agriculture. 2004. Forest Inventory Analysis Fiscal Year 2003 Business Report. Forest Service FS-806.

United States Department of Agriculture. Soil Survey of Mayagüez Area of Western Puerto Rico. Soil Conservation Service in cooperative with University of Puerto Rico – Agricultural Experiment Station.

United States Department of Agriculture. Soil Survey of San Juan Area of Puerto Rico. Soil Conservation Service in cooperative with University of Puerto Rico – College of Agricultural Sciences.

United States Department of Agriculture. Soil Survey of Humacao Area of Eastern Puerto Rico. Soil Conservation Service in cooperative with University of Puerto Rico – College of Agricultural Sciences.

United States Environmental Protection Agency. 1988. Hydrogeologic Mapping: Needs for Ground-Water Protection and Management. Workshop Report.

United States Environmental Protection Agency. 2002. A Lexicon of Cave and Karst Terminology with Special Reference to Environmental Karst Hydrology (Supercedes EPA/600/R-99/006, 1/99).

United States Fish and Wildlife Service. 1999. Technical/Agency Draft Revised Recovery Plan for the Puerto Rican Parrot (*Amazona vittata*). Atlanta, GA. 77 pp.

United States Fish and Wildlife Service. Acta Federal de Especies en Peligro de Extinción del 1973 (Listings by Status and Territory as of 07/09/2005: Puerto Rico, [http://ecos.fws.gov/tess\\_public/servlet/gov.doi.tess\\_public.servlets.UsaLists?state=PR](http://ecos.fws.gov/tess_public/servlet/gov.doi.tess_public.servlets.UsaLists?state=PR))

United States Forest Service. 2004. Forest Inventory Analysis Fiscal Year 2003. Business Report, FS-806.

United States Geological Survey. 1983. Analog Model Analysis of the North Coast Limestone Aquifers, Puerto Rico. U.S. Geological Survey Open File Report 82-52.

United States Geological Survey. Simulation of Flow in the Upper North Coast Limestone Aquifer, Manatí-Vega Baja, Puerto Rico. Water Resources Investigations Report 00-4266.

United States Geological Survey. Geology and Hydrogeology of the Caribbean Islands: Aquifer System of the Commonwealth of Puerto Rico and the US Virgin Islands: Regional Aquifer System Analysis. US Geological Survey Professional Paper 1419.

University of Michigan – Museum of Zoology. Animal Diversity Web. ([www.animaldiversity.ummz.umich.edu](http://www.animaldiversity.ummz.umich.edu))

Valeiras Miní, Evelio. 2001. "Factores que afectan la conservación y manejo de las dolinas en la región cárstica de Puerto Rico". XXIV Simposio de Recursos Naturales del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. pp. 64-76

Ventosa-Febles, E., María Camacho Rodríguez, José L. Chabert Llompart, José Sustache Sustache y Daniel Dávila Casanova. 2005. Puerto Rico Critical Wildlife Areas. Departamento de Recursos Naturales y Ambientales.

White, W.B. 1984. "Rate processes: chemical kinetics and karst landform development". Groundwater as a geomorphic agent, Edited by R.G. La Fleur. London, Boston, Sydney: Allen and Unwin, 227-248.

Wunderle, J.M. 1996. Guiding principles and recommendations for the recovery of the endangered Puerto Rican Parrot. Workshop held December 6-8, 1995. IITF, Río Piedras, Puerto Rico USDA Forest Service. 29 pp.

## **Mapas, Listas, Figuras, Capas Digitales de Información e Imágenes**

Autoridad de Carreteras y Transportación. 2003. Mapa de carreteras estatales de Puerto Rico.

Centro de Recaudación de Ingresos Municipales. Mapas CRIM (Edición digital).

Briggs. R.P. y J.P. Akers. Hydrogeologic map of Puerto Rico and adjacent islands. US Geological Survey-Hydrologic Investigations, Atlas HA - 197.

Ciudadanos del Karso, US Fish and Wildlife Service y US Department of the Interior. Cartel El Karso Norteño.

Departamento d Recursos Naturales y Ambientales y Centro de Recaudación de Ingresos Municipales. 2007. Fotos aéreas de Puerto Rico (ortorectificadas)

Departamento d Recursos Naturales y Ambientales. Mapa de Áreas Naturales Protegidas de Puerto Rico.

Gómez-Gómez, F. Mapa: Hydrogeology of Puerto Rico, modified from Briggs Hydrogeology Map: following UNESCO guidelines. Unpublished data.

Imágenes IKONOS. 2002.

Junta de Planificación de Puerto Rico. Mapa de Municipios de Puerto Rico.

Junta de Planificación de Puerto Rico. Mapa delimitando la zona cársica de Puerto Rico (Edición digital).

Junta de Planificación de Puerto Rico. 2004. Mapa de Puerto Rico e Islas Limítrofes: Cuevas y Cavernas (Edición digital).

Junta de Planificación de Puerto Rico. 2003. Mapa: Zona de conservación del Carso Área Caliza del Norte (Tamaño 11 X 17).

Junta de Planificación de Puerto Rico. Plan de Ordenamiento Territorial: Municipio de Aguadilla (Aprobado).

Junta de Planificación de Puerto Rico. Plan de Ordenamiento Territorial: Municipio de Barceloneta (Borrador).

Junta de Planificación de Puerto Rico. Plan de Ordenamiento Territorial: Municipio de Bayamón (Aprobado).

Junta de Planificación de Puerto Rico. <u>Municipio de Cabo Rojo</u> (Borrador).	<u>Plan de Ordenamiento Territorial:</u>
Junta de Planificación de Puerto Rico. <u>Municipio de Canóvanas</u> (Aprobado).	<u>Plan de Ordenamiento Territorial:</u>
Junta de Planificación de Puerto Rico. <u>Municipio de Carolina</u> (Aprobado).	<u>Plan de Ordenamiento Territorial:</u>
Junta de Planificación de Puerto Rico. <u>Municipio de Cataño</u> (Borrador).	<u>Plan de Ordenamiento Territorial:</u>
Junta de Planificación de Puerto Rico. <u>Municipio de Ciales</u> (Aprobado).	<u>Plan de Ordenamiento Territorial:</u>
Junta de Planificación de Puerto Rico. <u>Municipio de Florida</u> (Borrador).	<u>Plan de Ordenamiento Territorial:</u>
Junta de Planificación de Puerto Rico. <u>Municipio de Guaynabo</u> (Aprobado).	<u>Plan de Ordenamiento Territorial:</u>
Junta de Planificación de Puerto Rico. <u>Municipio de Lares</u> (Aprobado).	<u>Plan de Ordenamiento Territorial:</u>
Junta de Planificación de Puerto Rico. <u>Municipio de Manatí</u> (Aprobado).	<u>Plan de Ordenamiento Territorial:</u>
Junta de Planificación de Puerto Rico. <u>Municipio de Moca</u> (Aprobado).	<u>Plan de Ordenamiento Territorial:</u>
Junta de Planificación de Puerto Rico. <u>Municipio de Morovis</u> (Aprobado).	<u>Plan de Ordenamiento Territorial:</u>
Junta de Planificación de Puerto Rico. <u>Municipio de San Germán</u> (Aprobado).	<u>Plan de Ordenamiento Territorial:</u>
Junta de Planificación de Puerto Rico. <u>Municipio de San Juan</u> (Aprobado).	<u>Plan de Ordenamiento Territorial:</u>
Junta de Planificación de Puerto Rico. <u>Municipio de Toa Baja</u> (Aprobado).	<u>Plan de Ordenamiento Territorial:</u>
Junta de Planificación de Puerto Rico. <u>Municipio de Vega Baja</u> (Aprobado).	<u>Plan de Ordenamiento Territorial:</u>

Junta de Planificación de Puerto Rico. Lista de Consultas radicadas en la Junta de Planificación 1997-2000: Casos aprobados, pendientes y en suspenso.

Junta de Planificación de Puerto Rico. Lista de Consultas radicadas en la Junta de Planificación 2001-2003: Casos aprobados, pendientes y en suspenso.

Junta de Planificación de Puerto Rico y US Environmental Protection Agency. 2004. Mapa: Zonas de conservación del Carso de Puerto Rico (Tamaño 11 X 17).

Junta de Planificación de Puerto Rico y US Geological Survey. 2004. Mapa de análisis de pendientes del Carso: Cuevas y Depresiones (Edición digital).

Sociedad Espeleológica de Puerto Rico, Inc. Base digital de recursos espeleológicos y cárnicos.

United States Department of Agriculture - Natural Resources Conservation Service. Mapa de suelos de Puerto Rico.

United States Department of Agriculture. 2004. Fotos aéreas de Puerto Rico (ortorectificadas).

United States Geological Survey. 1962. Puerto Rico e islas limítrofes (Escala 1: 240,000).

United States Geological Survey. Mapas topográficos de Puerto Rico (Edición digital).

United States Geological Survey. Mapas geológicos de Puerto Rico (Edición digital).

United States Geological Survey. 2004. 3 Mapas: Hydrogeology and Hydrology of the North Coast Limestone Aquifer System, Puerto Rico (Edición digital).

United States Geological Survey, Departamento de Recursos Naturales y Ambientales y Junta de Planificación de Puerto Rico. 2003. Mapa: Localización de pozos y manantiales en Área Caliza del Norte, Secciones Noroeste, Central Norte y Noreste.

United States Geological Survey y United States Environmental Protection Agency. 2004. Mapas del Acuífero Artesiano Profundo y del Acuífero Artesiano del nivel freático (Edición Digital).

## **Leyes y Reglamentos**

Ley Núm. 132 de 25 de junio de 1968, según enmendada. Ley para reglamentar la extracción de corteza terrestre ó "Ley de arena, grava y piedra".

Resolución Conjunta Núm. 1 de 1 de julio de 1975. Declarar monumento histórico la cueva María La Cruz en Loíza.

Ley Núm. 133 de 1 de julio de 1975, según enmendada. Ley de bosques de Puerto Rico.

Ley Núm. 111 de 12 de junio de 1985, según enmendada. Ley para la protección y conservación de cuevas, cavernas o sumideros de Puerto Rico.

Ley Núm. 112 de 20 de julio de 1988, según enmendada. Ley para la protección del patrimonio arqueológico terrestre.

Ley Núm. 150 de 4 de agosto de 1988, según enmendada. Ley del Programa de Patrimonio Natural de Puerto Rico.

Ley Núm. 241 de 15 de agosto de 1999, según enmendada. La Nueva Ley de Vida Silvestre de Puerto Rico.

Ley Núm. 292 de 21 de agosto de 1999. Ley para la protección y conservación de la fisiografía cársica de Puerto Rico.

Ley Núm. 93 de 7 de junio de 2000. Ley para declarar como monumento histórico de Puerto Rico la Cueva Lucero y el manantial que se origina en el mismo lugar en el municipio de Juana Díaz.

Ley Núm. 129 de 21 de julio de 2000. Para declarar como monumento natural Las Cuevas del Barrio Guayabal en Juana Díaz.

Ley Núm. 180 de 21 de agosto de 2000. Para declarar el Monte Santa Ana de Bayamón como servidumbre de conservación.

Ley Núm. 245 de 19 de octubre de 2002. Ley para declarar el sistema de cuevas y cavernas de Aguas Buenas como área de Reserva Natural.

Ley Núm. 51 de 4 de enero de 2003, según enmendada. Ley para el Acuerdo Cooperativo Conjunto y Fondo Especial para servicios del US Geological Survey.

Ley Núm. 395 de 21 de septiembre de 2004. Ley para designar el Parque Nacional de la Zona Cárstica del Río Tanamá.

Ley Núm. 471 de 23 de septiembre de 2004. Ley de Reserva Natural del Río Indio.

Ley Núm. 550 de 3 de octubre de 2004, según enmendada. Ley para el Plan de Uso de Terrenos del ELA de Puerto Rico.

Reglamento Núm. 6765 de 11 de febrero de 2004. Reglamento para regir la conservación y el manejo de la vida silvestre, las especies exóticas y la caza en el Estado Libre Asociado de Puerto Rico.

Reglamento Núm. 6766 de 11 de febrero de 2004. Reglamento para regir las especies vulnerables y en peligro de extinción en el Estado Libre Asociado de Puerto Rico.

Reglamento Núm. 6916 de 17 de diciembre de 2004. Reglamento para regir la extracción, excavación, remoción y dragado de los componentes de la corteza terrestre.

Reglamento de Planificación Número 4 de 28 de junio de 2008. Reglamento de Calificación de Puerto Rico.

### **Direcciones del Internet**

50CFR Part 17.95(c), Electronic Code of Federal Regulations ([http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/text-idx?sid=9b24c99ca6e666f94cbf987e17f70f05&c=ecfr&tpl=/ecfrbrowse/Title50/50tab\\_02.tpl](http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/text-idx?sid=9b24c99ca6e666f94cbf987e17f70f05&c=ecfr&tpl=/ecfrbrowse/Title50/50tab_02.tpl)). 2005.

Flora del mundo: Glosario, Proyecto Species Plantarum (*Species Plantarum*, originally published in English as part of the Introduction volumen). Traducido por Dr. Mónica Moraes. Australian Biological Resources Study. 2003. ([http://plantnet.rbgsyd.nsw.gov.au/iopi/SPPspanish\\_glossary.pdf](http://plantnet.rbgsyd.nsw.gov.au/iopi/SPPspanish_glossary.pdf)).

The AOU Check-list of North American Birds, American Ornithologist's Union ([www.aou.org/checklist/birdlist46.pdf](http://www.aou.org/checklist/birdlist46.pdf))

### **Informes Técnicos**

Inventario Forestal de Puerto Rico y los futuros trabajos en la zona del carso. Escrito preparado por Edgardo González del Negociado de Servicio Forestal, DRNA. febrero 2005.

Terrenos de Conservación Posible Expansión y Conexión de Áreas Naturales Protegidas. (Escrito relacionado: Extensión de los bosques y de las otras tierras boscosas) Escritos preparados por Edgardo González, Negociado Servicio Forestal, DRNA. marzo 2005.

Información de restauración y costos. Escrito preparado por Edgardo González, Negociado Servicio Forestal, DRNA. marzo 2005.

Valor ambiental y costo de restauración. Escrito preparado por Andrea Handler Ruiz, Negociado de Servicios Especializados, SAP, y Edgardo González, Negociado Servicio Forestal, DRNA. marzo 2005.

Recomendaciones sobre zonificaciones en el carso. Escrito preparado por Giovanna Fuentes, Negociado de Endosos, SAP, DRNA. febrero 2005.

Proceso de Carsificación. Escrito preparado por Andrea Handler Ruiz, Negociado de Servicios Especializados, SAP, DRNA. marzo 2005.

Descripción de la Biodiversidad encontrada en la Zona Cársica. Escrito preparado por Vicente Quevedo Bonilla. División de Patrimonio Natural, Área de Planificación Integral, DRNA. marzo 2005.

Metodología para la revisión de la delimitación de los terrenos con prioridad de conservación en el Carso e inclusión de nuevas áreas. Escrito preparado por el Plan. Pedro Guevara, Junta de Calidad Ambiental. 9 de abril de 2008.

Alcance de la definición de la zona cársica de Puerto Rico para el Caso KPE02-24-48 (907). Preparado por el Geol. Pedro A. Gelabert, US Environmental Protection Agency. 13 de diciembre de 2007.

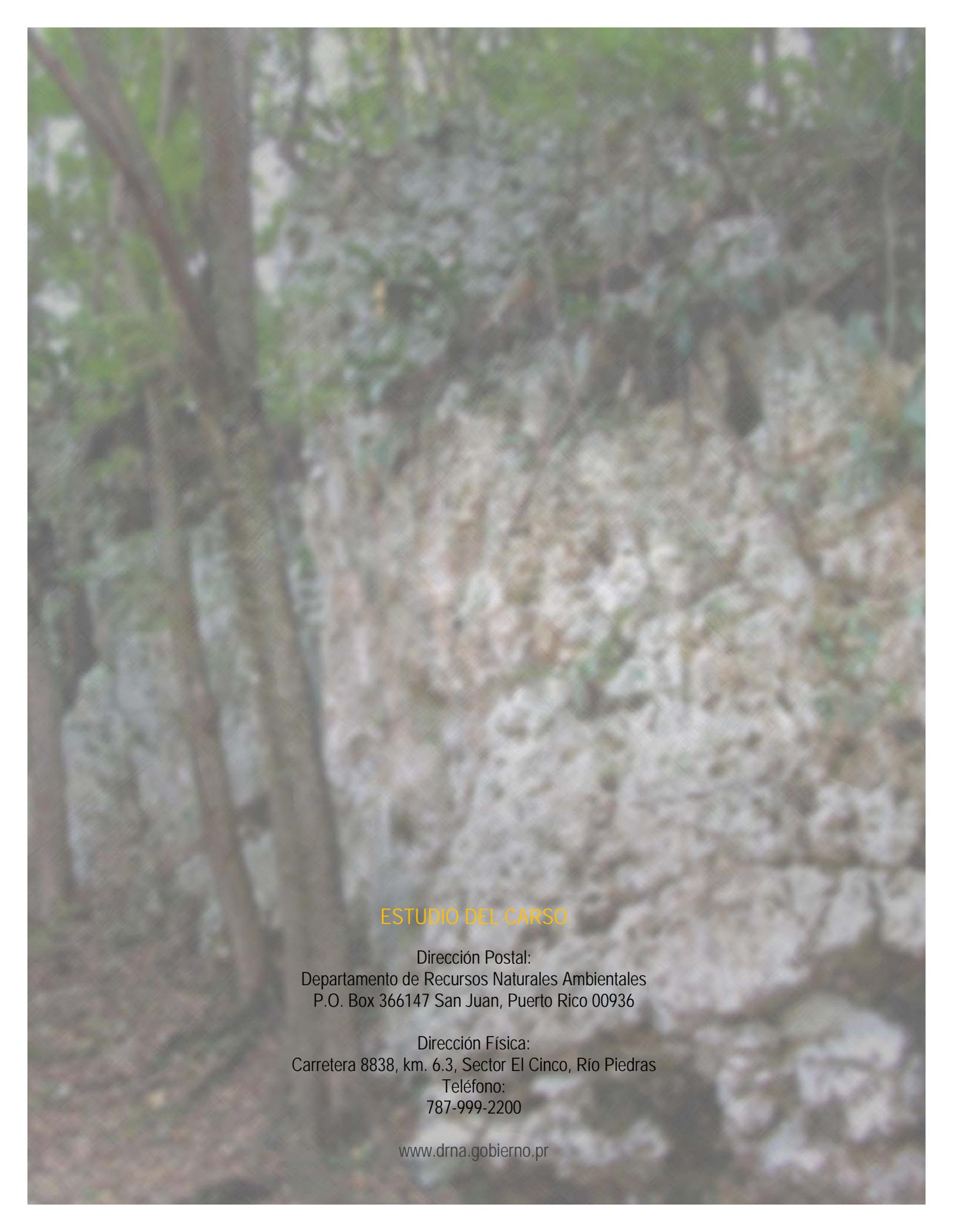
Caracterización geológica de Guanaquilla. Preparado por la Geol. Ruth H. Vélez, Negociado de Servicios Especializados, Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. 17 de junio de 2008.

Elementos críticos localizados en el carso. Preparado por Daniel Dávila, División de Patrimonio Natural, Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. 7 de julio de 2008.

Sitios arqueológicos del Carso. Preparado por la Arqueóloga Tamara González, Consejo de Arqueología Terrestre de Puerto Rico. 17 de julio de 2008.

### **Otros documentos**

Acuerdo Cooperativo entre el Departamento de Recursos Naturales y la Sociedad Espeleológica de Puerto Rico, Inc. 1996.



## ESTUDIO DEL CARSO

Dirección Postal:  
Departamento de Recursos Naturales Ambientales  
P.O. Box 366147 San Juan, Puerto Rico 00936

Dirección Física:  
Carretera 8838, km. 6.3, Sector El Cinco, Río Piedras  
Teléfono:  
787-999-2200

[www.drna.gobierno.pr](http://www.drna.gobierno.pr)