





# Acta Científica

ASOCIACIÓN DE MAESTROS DE CIENCIA DE PUERTO RICO

---

## Editor

Ariel E. Lugo

## Editor de producción

Evelyn Pagán

## Oficial administrativo

Mildred Alayón

## Revisores de esta edición

Jorge L. Morales

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

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

Ariel E. Lugo  
Editor Acta Científica  
Instituto Internacional de Dasonomía Tropical  
Servicio Forestal  
Calle Ceiba 1201, Jardín Botánica Sur  
Río Piedras, Puerto Rico 00926-1119

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

---

## PORTADA

La portada presenta fotos aéreas de dos de los bosques con resultados en este número de **Acta**. La foto del Bosque del Nuevo Milenio es del 2004 y la del bosque de Caguana en Utuado es del 2006. Ambos bosques están en entornos urbanos, aunque el Bosque del Nuevo Milenio está rodeado por la ciudad. Olga Ramos confeccionó esta portada.

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

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

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

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

---

**ASOCIACIÓN DE MAESTROS DE CIENCIA DE PUERTO RICO  
JUNTA DE DIRECTORES 2008-2009**

Presidenta	Profa. Egda Morales
Presidente electo	Dr. Ricardo Morales
Presidenta saliente	Prof. Jacqueline López
Secretario	Prof. Daniel Vázquez
Secretaria ejecutiva	Profa. Lucy Gaspar
Tesorera	Profa. Hilda Miranda

REPRESENTANTES DE CAPÍTULO REGIONALES

MIEMBRO EX-OFICIO  
Prof. Luis Jiménez

COLABORADORES  
Profa. Marta R. Fortis  
Profa. Elena Maldonado  
Profa. Betzaida Ortiz  
Profa. Nilda Doris Ramos

ASESOR  
Dr. Ariel E. Lugo

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

Asociación de Maestros de Ciencia  
PO Box 362007  
San Juan, Puerto Rico 00936-2007

## EDITORIAL

El 20 de enero del 1995, el Servicio Forestal de los Estados Unidos de América firmó un acuerdo cooperativo con la Escuela Superior Vocacional Luis Muñoz Rivera de Utuado, Puerto Rico. El objetivo era el colaborar para el establecimiento de un programa de investigación ecológica en un bosque aledaño a la escuela donde los maestros y estudiantes pudiesen estudiar el bosque con precisión y a largo plazo. La idea era que los maestros y estudiantes participasen en trabajos originales de investigación y que los resultados fuesen aportaciones nuevas al conocimiento científico de los bosques de Puerto Rico. Como los ecólogos tradicionalmente no le han prestado mucha atención a los bosques secundarios que emergen luego del abandono de la actividad agrícola, el éxito del programa estaba asegurado ya que los bosques seleccionados por las escuelas participantes eran bosques poco estudiados en Puerto Rico.

Este programa se reforzó con la participación de la Fundación Nacional Para las Ciencias de los Estados Unidos de América con su programa *Schoolyard* bajo los auspicios del Programa de Investigaciones Ecológicas a Largo Plazo que administra la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras en colaboración con el Servicio Forestal de los Estados Unidos de América. El programa *Schoolyard* contribuyó al estudio en Utuado aportando dinero para equipos y asesoría para los maestros y estudiantes.

Las páginas de **Acta Científica** se han convertido en el lugar donde se publican estos trabajos en colaboración entre el Servicio Forestal y las escuelas participantes. Por ejemplo, en el volumen 13 de **Acta**, se publicaron los trabajos hechos en el bosque La Torrecilla por maestros y estudiantes de la Escuela Superior Vocacional Pablo Colón Berdecía de Barranquitas y técnicos del Servicio Forestal. En este número, publicamos los trabajos hechos en un bosque secundario de 26 años en el sector Jácana de Utuado por estudiantes y maestros de la Escuela Superior Vocacional Luis Muñoz Rivera y técnicos del Servicio Forestal.

Los dos trabajos hechos en Utuado que aquí publicamos contienen dos novedades que ameritan comentario ya que reflejan perfectamente el objetivo del programa de estudiar estos bosques a largo plazo. Primero, por primera vez reportamos tasas de crecimiento de los árboles en el bosque en Utuado. Lograr esto tomó cuatro años de estudio y mediciones repetitivas de los árboles por distintas generaciones de estudiantes en la escuela, todo bajo la guía y liderato de la maestra Noemí Méndez y Carlos M. Domínguez Cristóbal del Servicio Forestal. Segundo, el estudio midió los efectos del paso del huracán Georges sobre el área de estudio. Estos dos aspectos novedosos de los estudios aquí presentados demuestran que en las escuelas públicas se puede llevar a cabo ciencia de calidad para contribuir fundamentalmente al entendimiento de la ecología de Puerto Rico y los trópicos.

Ariel E. Lugo  
*Editor*

## THE ECOSYSTEMS OF THE LUQUILLO MOUNTAINS

*Ariel E. Lugo*

International Institute of Tropical Forestry

USDA Forest Service

1201 Ceiba St., Jardín Botánico Sur, Río Piedras, PR 00926-1119

The Luquillo Mountains (LM) in northeastern Puerto Rico, where the El Yunque National Forest is located, have a core of igneous and volcanic rocks with an age of about 146 million years, together with layers of uplifted sedimentary and metamorphosed rocks. These mountains are very steep with highly dissected topography and rise abruptly from the coastal plain to an elevation of about 1,000 m (ca. 3,280 feet). The LM are exposed to the trade winds that blow steadily from the Atlantic Ocean. Basic climatic conditions of the mountains are determined by the interaction of their topography and the trade winds as they rise, cool, produce rainfall, and flow over its slopes. The mean annual temperature at lower elevations is about six degrees Celsius (9 Fahrenheit) higher than that on the top of the mountains. On average, annual rainfall triples from the coast to the top of the mountain. The highest rainfall in Puerto Rico falls in the LM, near East Peak with an annual average of over 5 meters (ca. 200 inches). Wind speed, air humidity, and cloudiness also increase with elevation. Clouds form at about 600m (ca. 1,970 feet) elevation, known as the cloud condensation level and it's common to see clouds penetrating and enveloping forests above this elevation.

The LM are also on the path of storms and hurricanes that originate in the Atlantic and move slowly northwestward, and they are also exposed to materials that are transported by wind and clouds from around the globe. Examples of these materials are Saharan dust, pollutants from the burning of fossil fuels in the United States of America and San Juan, greenhouse gases, volcanic ash, and historically, even low levels of radioactive materials produced when atomic bombs were tested in the atmosphere. The LM also have a high diversity of soil types represented by 19 of the Island's 64 soil series. The LM have also attracted humans for millennia

making human activity a critical factor in determining the structure, species composition, and function of its ecosystems. The ecosystems of the LM respond and reflect all of the outside influences listed above. These environmental factors interact with the biota as it continues to evolve in the insular context of Puerto Rico.

The ecosystems of the LM form a green tapestry over the landscape that when observed from any lookout appears to be a continuous tapestry of vegetation. This tapestry is composed of a high diversity of species and ecosystem types, each with its own complexity and each interacting with others above, below, and next to it. The heterogeneity of the tapestry is due to the many gradients in the conditions of the mountains as one moves up, down, east, or west within them, and by the constant tearing of the tapestry by disturbances such as hurricanes, landslides, and deforestation, followed by natural repair.

Climatic gradients, varied soils and topography, contrasting wind exposure, and recurrent natural disturbances result in a mosaic of ecosystems on the LM. In different locations within this milieu of conditions, one finds different combinations of species and different ecosystem types. Sometimes the change is gradual and other times the change is abrupt, but continuing change in space and time is a characteristic of the biota in the LM. For example, the distribution of tree species shows a gradual change from the lowlands to the tops of the mountains, with sharp discontinuities at elevations between 600 and 700m (1,970 and 2,297 feet) where the cloud condensation level occurs. The density of epiphytes (or plants that grow on other plants such as mosses, lichens, bromeliads and orchids) increases dramatically above this elevation.

The climatic changes with elevation are related to the change in forest height; forests are taller in the lowlands and decrease in height with elevation. Similarly, there is a transformation in the functioning of ecosystems at the cloud condensation level as forests above this level become “cloud forests” or forested wetlands responding to cloud water and cloud nutrient inputs that transform their soils and soil biota. Above the cloud condensation level, precipitation increases, soils increase in organic matter, decrease in oxygen and the biota changes accordingly both above and below ground. Epiphytes as well as the trees and shrubs supporting them derive nutrients directly from aerial inputs. The density of soil organisms is lower in high elevation forests compared to coastal forests. However, earthworms are more abundant on top of the mountains in the elfin forest than they are at lower elevations. Coincidentally, the low soil oxygen in the elfin forest makes earthworms an important organism in this forest because earthworms burrow and aerate the soil. From east to west, the forest changes because those to the east are exposed to the winds from the Atlantic while the mountain protects those on the west. Thus, the windward forests at high elevations are less diverse, more exposed to the effects of winds, and of shorter stature than the leeward forests.

The ecosystems of the LM also change over time. Hurricanes open forest canopies and stimulate the growth of tree species such as *Cecropia schreberiana*, which rapidly fill the holes in the canopy. Similarly, ferns colonize soils exposed by landslides or road cuts. All these disturbances of the green tapestry occur at different intensities and frequencies and result in ecosystems in different stages of recovery from, or response to, disturbance events. The age of trees reflects these different stages of succession. The oldest trees in the LM range in age between 600 and 1,000 years, and these are the ones that have escaped the frequent hurricanes and human disturbances. Most mature forest trees range in age from 100 to 400 years old. The younger forests that emerged after the abandonment of past human activity in the lowlands or after recent disturbances are less than 100 years old.

The types and structure of forests also changes as the species change. For example, the ubiquitous

palm forests occur between 300 and 900 m (980 and 2,953 feet) elevation, but their structure and species composition change depending on whether they are windward or leeward, or if they are on river bottoms, ridges, or riparian areas. Tabonuco forests occur below 600 m (1,970 feet) elevation and they also show variability of structure and composition with wind exposure and elevation. Yet, where the tabonuco forests become almost pure stands of tabonuco trees is on the top of ridges, while other species dominate the slopes or the valleys nearby. Colorado forests are found on a particular geology (grandiorite), a geological formation that weathers rapidly, producing sandy soils. Ferns dominate landslide sites and road cuts, forming unique fern-dominated ecosystems on steep slopes with exposed soils. Because the LM are so wet, many of its forests are wetland forests (even on steep slopes), including the elfin forests, Colorado forests, palm forests, and the locally threatened *Pterocarpus* forests. The LM also harbor aquatic ecosystems such as the pools and rapids of its streams, six major river systems, herbaceous wetlands including those on the rock faces of waterfalls, and micro ecosystems in decomposing logs and tanks of bromeliads.

Because the many tree species are arrayed along multiple environmental gradients, it is possible to identify many types of forest. Only when one finds a species dominating a particular location (as tabonuco does on low elevation ridges, palms on high elevation steep slopes, and Colorado on granodiorite geology) does it become easy for ecologists to identify a forest type. However, these are usually the exception, because the species composition and order of importance of species along the many gradients of the mountains are always changing, forming an endless number of species combinations. On the mountaintops, for example, the elfin forest occupies a small area, but contains many variants depending on wind exposure, substrate conditions, slope, and geographic location.

Given the environmental milieu, the overall biodiversity in the LM is impressive: 225 tree species, 16 amphibian species, 18 reptile species, 16 mammal species, about 150 resident and migratory bird species, and over 350 mushroom species. The

number of species in groups of organisms such as micro fungi, bacteria, nematodes, arthropods, and other soil groups are unknown but well exceed the number of tree species. The biodiversity of the LM includes 98 rare and endangered plant species and 23 endemic plant species. All this biodiversity occurs on an area no larger than 26,000 ha or 64,250 acres.

The ecosystems of the LM perform many ecological services. They are one of the premier tourist attractions of the Island. They provide recreational opportunities for people of all ages. Each day, humans use about 50 million gallons of water from these mountains. The forests of the LM absorb the energy of hurricanes that pass over them, thus weakening the storm and reducing the impacts of these events to nearby population centers. Trees in the LM include some of the finest tropical hardwoods and are capable of sustaining small wood industries and providing fuel wood, as they did during past centuries. Fungi, bacteria, and soil organisms process enormous amounts of organic matter, a process that is responsible for the clean water, soil formation, and high productivity of the LM. The wildlife of the LM migrates to other regions where they perform important ecological functions. For example, freshwater shrimp reproduce in estuaries and migrate up the rivers and streams. In the process they become part of the coastal food chain including coastal fisheries. Bats, parrots, and other large birds fly long distances pollinating and dispersing plants and consuming large quantities of fruits and insects in lowland ecosystems. Many migratory bird species winter in the LM. Prehistoric stone tools and petroglyphs attest to the fact that humans have lived in and around the LM for millennia and have benefited from its forest products and services, and attributed spiritual value to its mysterious cloud-shrouded appearance.

The presence of humans has had measurable effects on the ecosystems of the LM. Many species have been introduced to the LM. A portion of these species is now naturalized and form part of some of the many ecosystem types in the mountains. Notable among these are the common rat, the beautiful impatiens along the roads, the bamboo, which is a giant grass, and the rose-apple tree. Feral cats, dogs, and mongoose that live near the recreation sites are examples of introduced species considered pests. Recently, an alien giant iguana is rapidly invading the LM. The lowland forests have all been deforested or selectively cut at one time or another, and thus mostly the forests above the cloud condensation level are the ones considered primary or old growth. The daytime heat produced by the ring of urban infrastructure outside the National Forest is affecting the cloud condensation level, and potentially modifying the climate of the LM. Scientists anticipate warmer and drier conditions to prevail over the mountains as a result of increasing rates of urbanization, exacerbating regional drying patterns. Also, because of their geographic position, accumulation of knowledge about its ecosystems, and the close interactions between organisms and the climate parameters that are predicted to change in the future (e.g., air temperature, rainfall, and both frequency and intensity of hurricanes), the LM are a bellwether for monitoring global climate change. The ecosystems of the LM will continue to change and adjust to this new round of human-induced changes, and in so doing will continue to function and be the Island's premier natural wonder.

#### **ACKNOWLEDGMENTS**

This work was done in collaboration with the University of Puerto Rico. I thank Fred Scatena, Frank Wadsworth, Oscar Abelleira, Wayne Arendt, Jean Lodge, Jeff Walker, and Mildred Alayón for comments on the manuscript.

## COMPOSICIÓN DE ESPECIES Y ESTRUCTURA DEL BOSQUE KÁRSTICO DE SAN PATRICIO, GUAYNABO, PUERTO RICO

Antonio Suárez<sup>1</sup>, Iván Vicéns<sup>2</sup> y Ariel E. Lugo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Biología Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, Puerto Rico

<sup>2</sup>Instituto Internacional de Dasonomía Tropical  
Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América  
1201 Calle Ceiba, Jardín Botánico Sur, Río Piedras, Puerto Rico 00926-1119

### ABSTRACT

Five permanent plots were established along an elevational gradient in the San Patricio urban forest. At the time of the study (August, 2004) we found 29 forest species in a 0.19 ha area. Of these, seven were introduced and dominated the mogote valley where there had previously been a military base. The slopes and top of the mogote were dominated by native species, particularly *Coccoloba diversifolia*. Regeneration included foreign and native species that dominated the valley and the high areas of the mogote, respectively. The structure of the five stands was similar to tree densities between 1300 and 1790 trees/ha and the basal area between 18.4 and 38.6 m<sup>2</sup>/ha. Although the effect of human activity is conspicuous in the forest's species richness and class, we predict that in the future this effect will decrease in favor of a greater presence and richness of native species.

### ABSTRACTO

Se establecieron cinco parcelas permanentes a lo largo de un gradiente de elevación en el bosque urbano San Patricio. Al momento del estudio (agosto 2004) encontramos 29 especies arbóreas en un área de 0.19 ha. De éstas, siete eran introducidas y dominaban en el valle del mogote donde había existido una base militar. En las laderas y tope del mogote dominaban especies nativas, particularmente *Coccoloba diversifolia*. La regeneración incluía especies introducidas y nativas que dominaban respectivamente el valle y las áreas altas del mogote. La estructura de los cinco rodales era similar con densidades de árboles entre 1300 y 1790 árboles/ha y área basal entre 18.4 y 38.6 m<sup>2</sup>/ha. Aunque el efecto de la actividad humana es notable en la riqueza y tipo de especies del bosque, predecimos que en el futuro este efecto disminuirá a favor de una mayor presencia y riqueza de especies nativas.

### INTRODUCCIÓN

Con el aumento en el interés público de establecer contacto con la naturaleza, se torna necesario proveerle a la población acceso seguro a bosques públicos en zonas urbanas. Por lo general, estos bosques no han sido estudiados por los ecólogos, por lo que hay necesidad de describir su composición de especies, estructura y funcionamiento a la vez que se establezcan protocolos para su manejo y conservación.

Este estudio tiene como propósito describir los cambios en la estructura y composición de especies en el bosque San Patricio en Guaynabo, Puerto Rico a lo largo de un gradiente de elevación y servir como base para en el futuro observar el crecimiento y desarrollo del bosque. El estudio aporta al conocimiento de la estructura y composición de los bosques kársticos. A pesar de la gran extensión geográfica de los bosques kársticos en Puerto Rico (16 por ciento del área de bosques de la Isla; Helmer 2004) éstos han sido poco estudiados (Lugo *et al.*

2001). El bosque San Patricio tiene la peculiaridad de estar ubicado cerca del extremo este de la zona kárstica donde la incidencia de mogotes es considerablemente menor al sector oeste de la zona kárstica. Esta zona oeste es donde se han llevado a cabo la mayor parte de los estudios de la vegetación de los mogotes (Lugo *et al.* 2001).

### LUGAR DE ESTUDIO

El bosque San Patricio es un bosque urbano con un área de 27.6 ha (70 cuerdas) de las cuales 76 por ciento es una región llana y el resto está ocupado por un mogote. El bosque urbano es un concepto geográfico y se refiere a toda la vegetación arbórea de una ciudad o región urbana (Lugo 2002) incluso los árboles en bosques fragmentados, sus parques, avenidas, calles, casas, etc. A su vez, el bosque San Patricio es un bosque secundario, o sea, uno que ha crecido de forma natural luego de una modificación drástica del bosque que lo antecedió (Wadsworth 1997). El bosque surge luego de que una base militar abandona este lugar en la ciudad de

Guaynabo. Por lo tanto, la vegetación en la parte llana es secundaria ya que anteriormente el lugar era de uso residencial. La vegetación de mogote es vegetación nativa con poca evidencia de impacto humano.

### MÉTODOS

Se establecieron cinco parcelas circulares con un área de 380 m<sup>2</sup> cada una a distintas elevaciones, en el bosque San Patricio (Fig. 1). El centro de cada parcela se marcó con un tubo PBC de 2.5 cm de diámetro. Las elevaciones de las parcelas, determinadas con un aparato de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés), fueron: 32, 26, 31, 56 y 92 m, comenzando por la región llana y culminando en el tope del mogote. Las parcelas se ubicaron permanentemente utilizando el GPS, con el cual se identifican las coordenadas de cada una (Tabla 1). Cada parcela consiste de un par de círculos concéntricos; el primero tiene un diámetro de 22 metros y el segundo de 5 metros (área de 19.6m<sup>2</sup>). Se marcó la vegetación del lugar

**FIGURA 1.** Foto aérea del bosque San Patricio. El mogote, con una torre de transmisión en el tope, está en la parte superior izquierda.



**TABLA 1.** Ubicación geográfica y elevación de las parcelas de estudio. Las coordenadas están en *Geographic/NAD-83, Rev. 97* y la elevación es sobre el nivel promedio del mar.

Parcela	Elevación (m)	Latitud (N)	Longitud (O)
1	32	18 24 29.973	66 05 27.144
2	26	18 24 35.249	66 05 30.959
3	31	18 24 36.408	66 05 32.721
4	56	18 24 39.334	66 05 33.962
5	92	18 24 40.847	66 05 36.304

teniendo en consideración que los árboles a marcar, encontrados en el círculo mayor, debían tener un diámetro a la altura del pecho (dap a 1.3m) de por lo menos 5cm. El círculo menor se utilizó para medir árboles  $> 2.5\text{cm} < 5\text{cm}$  dap. Éste círculo menor tiene como propósito estudiar la regeneración del bosque. Marcamos cada árbol con una etiqueta que identificaba el número de la parcela y el número del árbol.

Durante el mes de agosto del 2004, se llevó a cabo un inventario de árboles en las parcelas, donde cada uno se identificaba por especie y se categorizaba como introducida o nativa. También se midió el dap y la altura de cada árbol. Además se estableció un mapa de ubicación de cada árbol tomando la distancia que éste tiene al centro de la parcela y el ángulo con respecto al norte y con el centro de las parcelas como punto de partida (*bearing*). El Apéndice contiene toda la información de campo para facilitar la re-ubicación y medida de los árboles en un futuro.

Con los datos de campo estimamos la densidad de árboles, el área basal de éstos y el Valor de Importancia de cada especie. El Valor de Importancia se estimó como la suma del área basal relativa y la densidad relativa de cada especie, expresado en porcentaje. La densidad relativa y el área basal relativa es el porcentaje de la densidad y área basal total (respectivamente) representado por cada especie.

## RESULTADOS

Se encontraron 29 especies arbóreas en las cinco parcelas (Tabla 2). Se observó mayor variedad de especies en la ladera del mogote (56m de elevación) y menor en el valle a 31m de elevación. Encontramos siete especies introducidas que predominaban sobre las nativas en las parcelas del valle pero no en la ladera y tope del mogote. En las dos parcelas de más alta elevación dominaban las especies nativas y la importancia de las especies introducidas era insignificante. El Valor de Importancia más alto fue de *Delonix regia* a 26m de elevación, seguido por *Coccoloba diversifolia* a 92m de elevación. La curva de los rangos del valor de importancia varían entre una distribución geométrica en la parcela a 31m de elevación hasta una distribución casi log-normal en la parcela a 56m de elevación en la ladera del mogote (Fig. 2).

La densidad de árboles con  $\text{dap} \geq 5\text{cm}$  varió poco con elevación, aunque la parcela con menor densidad de árboles a 26m tuvo el mayor valor de área basal dado a que contenía árboles con el dap promedio más alto (Tabla 3). El área basal se duplicó entre las parcelas a 32 y 26m de elevación. La parcela con mayor cantidad de especies (56m de elevación) junto a la parcela de mayor elevación tenían los árboles más altos.

La densidad de árboles  $> 2.5 < 5\text{cm}$  de dap fue casi el doble de la densidad de árboles con  $\text{dap} \geq 5\text{cm}$  (Tabla 3). Sin embargo, su área basal y altura fueron bajas en comparación con la de los árboles

**TABLA 2.** Distribución por elevación de especies arbóreas en el bosque San Patricio. El número corresponde al Valor de Importancia de la especie en la parcela indicada. Las especies introducidas se identifican con un asterisco (\*).

Especie	Elevación de Parcela (m)				
	32	26	31	56	92
<i>Tabebuia heterophylla</i>	9				
<i>Roystonea borinquena</i>	1				
<i>Calophyllum calaba</i>	1				
<i>Terminalia catappa</i> *	12				
<i>Delonix regia</i> *	10	59	25		
<i>Albizia procera</i> *	26	10	41		
<i>Spathodea campanulata</i> *	30	18	1		
<i>Citharexylum fruticosum</i>	9	5	4	9	
<i>Eugenia monticola</i>	1	2		2	
<i>Casearia guianensi</i>	1				
<i>Malpighia infestissima</i>		1			
<i>Bourreria succulenta</i>		4		1	2
<i>Carapa guianensis</i> *		1	1		1
<i>Coccoloba diversifolia</i>		1		32	52
<i>Leucaena leucocephala</i>			28		
<i>Eugenia rondicollia</i>				8	3
<i>Eucalyptus robusta</i> *				2	
<i>Eugenia lancea</i>				3	
<i>Exostema caribaeum</i>				5	
<i>Guapira fragans</i>				3	
<i>Guatterria caribaea</i>				4	
<i>Krugiodendron ferreum</i>				5	
<i>Maitenus eliptica</i>				1	
<i>Ficus laevigata</i>				2	14
<i>Bursera simaruba</i>				6	9
<i>Bucida buceras</i>				16	12
<i>Sideroxylon foetidissimu</i>					1
<i>Sideroxylon salicifolium</i>					2
<i>Adenanthera pavonina</i> *					4

≥ 5cm dap. Encontramos 10 especies en este estrato (Tabla 4), de las cuales tres eran introducidas. Ninguna de las especies introducidas creció sobre 32 m de elevación.

## DISCUSIÓN

La distribución de los árboles del bosque San Patricio es consistente con lo que se conoce de las otras zonas ecológicas de Puerto Rico (Wadsworth 1997). Entre las especies nativas, *Coccoloba diversifolia* (uverillo), fue la más dominante

(Tabla 2). Uverillo crece en las regiones forestales de la zona caliza húmeda y de la zona caliza seca de Puerto Rico (Wadsworth 1997). Ninguna otra especie nativa fue tan dominante como uverillo. *Bucida buceras* fue un segundo distante a uverillo en cuanto a dominancia en el mogote.

En contraste al comportamiento de las especies nativas, cuatro especies introducidas exhibieron altos niveles de dominancia, principalmente en el valle (Tabla 2). Encontrado en regiones húmedas de la Isla y a lo largo de las carreteras, al igual que en los

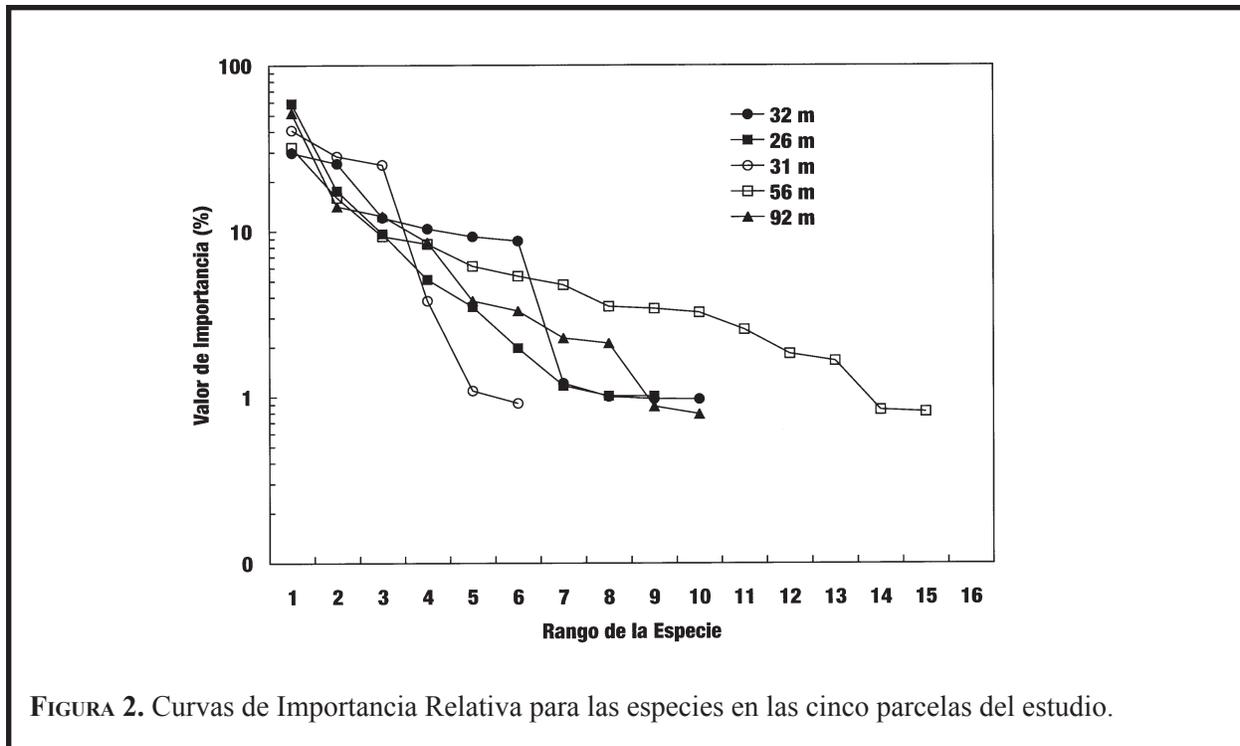


TABLA 3. Índices estructurales de árboles y parcelas en el bosque San Patricio. El área por parcela fue de 380 y 19.63 m<sup>2</sup>, respectivamente para árboles  $\geq 5$ cm y  $> 2.5 < 5.0$ cm dap.

Parámetro	Elevación de Parcela (m)				
	32	26	31	56	92
	Árboles $\geq 5$ cm dap				
Diámetro promedio (cm)	11.2	13.6	10.1	12.7	12.8
Altura promedio (m)	8.1	8.6	8.5	9.6	9.0
Densidad (árboles/ha)	1422	1395	1763	1763	1790
Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	18.4	38.6	20.8	29.1	30.8
Número de especies	10	9	6	16	10
	Árboles $\geq 2.5 < 5$ cm dap				
Diámetro promedio (cm)	3.2	4.0	4.1	0.9	3.5
Altura promedio (m)	3.1	2.3	4.8	1.1	5.8
Densidad (árboles/ha)	3567	510	3568	3057	1529
Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	3.0	0.6	0.7	2.5	2.5
Número de especies	3	1	2	4	2

jardines, el árbol *Delonix regia* (árbol dominante y con mayor importancia en la región llana) define el concepto exótico y a su vez es altamente conocido y propagado. En el caso de la *Leucaena leucocephala*,

un árbol invasor, es encontrado a lo largo de las carreteras, en pastos abandonados y en malezas, en las regiones calizas secas y costas secas de Puerto Rico (Wadsworth 1997). *Spathodea campanulata*

**TABLA 4.** Presencia de especies arbóreas en el sotobosque del bosque San Patricio. Las especies introducidas se identifican con un asterisco (\*).

Especie	Elevación de Parcela (m)				
	32	26	31	56	92
<i>Tabebuia heterophylla</i>	X				
<i>Spathodea campanulata</i> *	X				
<i>Delonix regia</i> *	X		X		
<i>Eugenia monticola</i>		X			
<i>Albizia procera</i> *			X		
<i>Exostema caribaea</i>				X	
<i>Krugiodendron ferreum</i>				X	
<i>Eugenia lancea</i>				X	
<i>Coccoloba diversifolia</i>				X	X
<i>Bucida buceras</i>					X

es una especie introducida proveedora de sombra en la región llana. Por último, *Albizia procera*, un árbol dominante en la región plana del bosque San Patricio, es una especie introducida relativamente reciente y que crece a lo largo de las carreteras y en jardines (Wadsworth 1997).

Los resultados sugieren que el patrón de distribución de las especies arbóreas primeramente responde al impacto humano. Aunque se observan diferencias en la distribución de especies con la elevación (Tabla 2), el hecho de que la actividad humana fuese concentrada en el valle, enmascara efectos que pudiesen atribuírsele a la elevación. Allí, predominan especies introducidas. En las regiones donde el impacto humano no fue tan grave encontramos casi exclusivamente especies nativas y una riqueza de especies superior al de la zona impactada por la actividad humana. En otras palabras, el haber existido una base militar en esta región baja, resultó en que la variedad de especies disminuyera. Las especies introducidas dominaron la sucesión inicial luego del abandono de la base.

A pesar del efecto humano sobre la flora arbórea, la Tabla 2 refleja cambios en la distribución de especies nativas con la elevación, particularmente especies con bajos valores de importancia como

*Tabebuia heterophylla*, *Roystonea borinquena*, *Calophyllum calaba*, *Malpighia infestissima* y *Casearia guianensis* (exclusivas de parcelas en el valle) y un número alto de especies que crecen en el tope del mogote pero no en sus laderas. Sin descartar los factores tiempo y/o efecto humano, estas distribuciones de especies podrían deberse a altura o quizás a la topografía a lo largo de la línea de muestreo. Por ejemplo, *Coccoloba diversifolia* puede crecer a todas las elevaciones, pero predomina en el tope. *Tabebuia heterophylla* es una especie de sucesión cuya distribución quizás refleja las edades de los rodales.

Los rodales producidos por la sucesión de especies introducidas no tenían diferencias notables con los rodales nativos del mogote en cuanto a su densidad de árboles y área basal (Tabla 3). La diferenciación principal fue florística y en la dominancia de las especies (Fig. 2). Sin embargo, la regeneración de los bosques sugiere que con el paso del tiempo la influencia de las especies forasteras podría disminuir mientras que aumenta la de las especies nativas (Tabla 4).

La alta dominancia de *Coccoloba diversifolia* en el tope del mogote (Fig. 2) fue sorprendente debido a que, salvo en los humedales, los rodales nativos

normalmente no exhiben dominancias tan altas (Lugo *et al.* 2001). Posiblemente el ambiente extremo en el tope del mogote (poco suelo, poca fertilidad, más sequía y alta ventosidad) causan una reducción en la riqueza de especies permitiendo que la especie mejor adaptada domine ante menor competencia.

En resumen, el gradiente topográfico, la elevación y el gradiente de impacto humano son los tres factores principales que influyen la distribución de la vegetación del bosque San Patricio. De estos tres, el impacto humano es el más obvio debido a la introducción de especies. Sin embargo, con el paso del tiempo, las especies nativas deben aumentar en importancia a expensas de las introducidas estableciendo un nuevo ajuste ecológico en respuesta a las condiciones cambiantes del lugar.

#### AGRADECIMIENTOS

Este manuscrito fue producto de una clase de investigación en la Universidad de Puerto Rico

que tomó el primer autor y dirigió el último autor. Agradecemos la colaboración de Mildred Alayón y Carlos Rodríguez del Instituto Internacional de Dasonomía Tropical. Ernesto Medina y Carlos Domínguez Cristóbal comentaron el manuscrito.

#### LITERATURA CITADA

- Helmer, E. 2004. Forest conservation and land development in Puerto Rico. *Landscape Ecology* 19:29-40.
- Lugo, A.E. 2002. What is an urban forest? Pages 12-15 *in* T.W. Zimmerman, editor. Proceedings of the 5<sup>th</sup> annual Caribbean urban forestry conference. University of the Virgin Islands Cooperative Extension Service, St. Croix, U.S.V.I.
- Lugo, A.E., L. Miranda Castro, A. Vale, T. d. M. López, E. Hernández Prieto, A. García Martínó, A.R. Puente Rolón, A.G. Tossas, D.A. McFarlane, T. Miller, A. Rodríguez, J. Lundberg, J. Thomlinson, J. Colón, J.H. Schellekens, O. Ramos y E. Helmer. 2001. Puerto Rican karst - A vital resource. USDA Forest Service, General Technical Report WO-65, Washington, DC. 100 p.
- Wadsworth, F.H. 1997. Forest production for tropical America. USDA Forest Service Agriculture Handbook 710, Washington DC. 603 p.

**Apéndice.** Datos de campo por parcela. Los árboles están de acuerdo al Asimut. Detalles en los métodos. El diámetro a la altura del pecho es el DBH.

Espece	DBH (cm)	Longitud/Altura (m)	Distancia (m)	Asimut
Parcela 1 (32 m de elevación)				
<i>Spathodea campanulata</i>	8.6	8.5	10.2	0
<i>Spathodea campanulata</i>	5.3	2.7	3.9	1
<i>Spathodea campanulata</i>	2.7	2.5	1.9	5
<i>Spathodea campanulata</i>	4.8	3.0	2.3	10
<i>Tabebuia heterophylla</i>	6.3	8.0	6.7	10
<i>Spathodea campanulata</i>	5.0	3.8	5.1	15
<i>Albizia procera</i>	17.7	11.0	8.6	25
<i>Albizia procera</i>	18.8	11.5	11.0	30
<i>Terminalia catappa</i>	21.0	12.0	11.0	30
<i>Spathodea campanulata</i>	9.8	9.5	4.1	35
<i>Citharexylum fruticosum</i>	20.1	13.0	3.7	45
<i>Tabebuia heterophylla</i>	2.9	2.3	1.0	45
<i>Spathodea campanulata</i>	3.0	2.3	1.9	65
<i>Citharexylum fruticosum</i>	8.1	9.0	7.7	68
<i>Spathodea campanulata</i>	7.9	7.0	2.3	68
<i>Spathodea campanulata</i>	8.8	6.3	7.7	72
<i>Albizia procera</i>	19.3	13.5	9.5	75
<i>Roystonea borinquena</i>	5.3	2.3	7.7	80
<i>Citharexylum fruticosum</i>	14.8	12.2	9.2	85
<i>Tabebuia heterophylla</i>	7.4	4.8	10.3	87
<i>Citharexylum fruticosum</i>	12.2	9.0	7.0	92
<i>Spathodea campanulata</i>	6.9	6.5	7.2	93
<i>Spathodea campanulata</i>	5.9	2.8	7.3	95
<i>Albizia procera</i>	7.4	5.0	7.8	100
<i>Citharexylum fruticosum</i>	9.9	8.5	4.9	105
<i>Eugenia monticola</i>	5.3	6.0	5.7	105
<i>Albizia procera</i>	13.0	10.5	5.3	108
<i>Spathodea campanulata</i>	28.0	10.0	8.9	110
<i>Albizia procera</i>	15.0	10.0	5.8	115
<i>Tabebuia heterophylla</i>	7.1	5.5	7.8	115
<i>Tabebuia heterophylla</i>	7.6	6.0	7.8	115
<i>Spathodea campanulata</i>	8.2	6.0	10.1	120
<i>Delonix regia</i>	2.6	4.0	2.2	125
<i>Delonix regia</i>	2.8	4.5	1.4	130
<i>Delonix regia</i>	5.0	5.5	4.5	135
<i>Tabebuia heterophylla</i>	11.1	10.0	7.8	140
<i>Spathodea campanulata</i>	7.8	6.8	7.6	160
<i>Albizia procera</i>	11.4	8.5	9.1	177

**Apéndice.** Datos de campo por parcela. Los árboles están de acuerdo al Asimut. Detalles en los métodos. El diámetro a la altura del pecho es el DBH (continuación).

Especie	DBH (cm)	Longitud/Altura (m)	Distancia (m)	Asimut
<i>Albizia procera</i>	9.5	8.5	10.2	180
<i>Spathodea campanulata</i>	21.8	10.5	9.5	180
<i>Spathodea campanulata</i>	10.4	5.0	6.2	200
<i>Delonix regia</i>	30.6	14.5	5.9	205
<i>Albizia procera</i>	7.2	6.0	3.4	215
<i>Albizia procera</i>	5.8	6.5	5.7	230
<i>Tabebuia heterophylla</i>	3.5	3.0	1.7	245
<i>Albizia procera</i>	16.0	12.0	7.9	250
<i>Spathodea campanulata</i>	6.4	5.0	7.6	250
<i>Spathodea campanulata</i>	6.9	4.5	7.4	250
<i>Spathodea campanulata</i>	9.1	8.0	8.9	250
<i>Albizia procera</i>	15.7	13.0	5.0	260
<i>Delonix regia</i>	12.3	9.0	7.5	260
<i>Spathodea campanulata</i>	8.7	6.0	10.3	265
<i>Calophyllum calaba</i>	5.8	7.0	10.4	271
<i>Terminalia catappa</i>	19.4	14.5	9.6	300
<i>Terminalia catappa</i>	27.2	15.0	3.8	300
<i>Casearia guianensis</i>	8.4	6.5	7.8	315
<i>Spathodea campanulata</i>	6.2	5.0	5.2	318
<i>Tabebuia heterophylla</i>	6.8	4.0	4.3	320
<i>Albizia procera</i>	8.4	9.0	8.1	330
<i>Terminalia catappa</i>	5.5	6.5	10.4	345
<i>Albizia procera</i>	13.2	9.0	10.2	359
Parcela 2 (26 m de elevación)				
<i>Citharexylum fruticosum</i>	18.2	9.5	3.7	0
<i>Bourreria succulenta</i>	7.7	6.0	8.1	2
<i>Bourreria succulenta</i>	10.3	8.0	8.0	5
<i>Bourreria succulenta</i>	10.4	9.0	9.4	7
<i>Albizia procera</i>	18.2	15.5	6.7	10
<i>Citharexylum fruticosum</i>	8.8	11.5	7.1	15
<i>Spathodea campanulata</i>	5.5	5.0	4.1	22
<i>Carapa guianensis</i>	9.6	8.0	4.6	23
<i>Citharexylum fruticosum</i>	9.1	10.3	8.3	28
<i>Eugenia monticola</i>	5.6	4.5	6.3	31
<i>Eugenia monticola</i>	4.0	2.3	2.3	38
<i>Delonix regia</i>	34.1	16.5	8.9	50
<i>Delonix regia</i>	11.4	8.5	8.9	50
<i>Malpighia infestissima</i>	5.8	3.3	8.2	53
<i>Delonix regia</i>	15.2	6.0	10.4	65

**Apéndice.** Datos de campo por parcela. Los árboles están de acuerdo al Asimut. Detalles en los métodos. El diámetro a la altura del pecho es el DBH (continuación).

Espece	DBH (cm)	Longitud/Altura (m)	Distancia (m)	Asimut
<i>Delonix regia</i>	23.3	12.0	10.9	65
<i>Spathodea campanulata</i>	16.0	12.0	2.2	82
<i>Delonix regia</i>	25.8	14.0	9.1	99
<i>Delonix regia</i>	12.9	4.5	5.5	100
<i>Delonix regia</i>	12.6	6.0	11.0	100
<i>Delonix regia</i>	15.4	17.0	11.0	100
<i>Delonix regia</i>	16.7	10.0	7.3	126
<i>Delonix regia</i>	38.0	15.5	7.3	126
<i>Delonix regia</i>	12.4	2.5	7.3	126
<i>Delonix regia</i>	23.1	14.0	9.4	130
<i>Delonix regia</i>	26.9	16.3	9.4	130
<i>Delonix regia</i>	8.8	7.0	2.4	150
<i>Delonix regia</i>	15.7	9.0	5.6	168
<i>Coccoloba diversifolia</i>	5.8	5.3	7.6	170
<i>Delonix regia</i>	25.9	12.5	7.6	170
<i>Delonix regia</i>	11.9	8.0	2.5	180
<i>Albizia procera</i>	29.2	14.5	10.0	190
<i>Spathodea campanulata</i>	16.9	9.0	7.7	200
<i>Spathodea campanulata</i>	5.2	2.3	4.7	220
<i>Spathodea campanulata</i>	6.0	2.5	7.3	220
<i>Delonix regia</i>	13.4	12.0	6.9	240
<i>Delonix regia</i>	8.1	8.5	6.9	240
<i>Delonix regia</i>	18.8	15.0	6.9	240
<i>Delonix regia</i>	6.6	8.3	1.8	250
<i>Delonix regia</i>	6.1	7.0	9.6	260
<i>Delonix regia</i>	13.6	12.0	4.7	290
<i>Delonix regia</i>	8.7	11.5	6.7	290
<i>Delonix regia</i>	32.4	17.8	11.0	290
<i>Delonix regia</i>	5.1	4.5	7.5	300
<i>Delonix regia</i>	5.1	4.3	7.5	300
<i>Delonix regia</i>	12.3	11.0	8.2	300
<i>Delonix regia</i>	19.6	16.3	3.6	310
<i>Delonix regia</i>	24.7	13.0	11.2	310
<i>Delonix regia</i>	23.5	12.5	10.1	320
<i>Albizia procera</i>	22.4	14.8	8.4	340
<i>Citharexylum fruticosum</i>	6.3	7.0	8.4	340
<i>Albizia procera</i>	23.3	11.8	5.9	350
<i>Spathodea campanulata</i>	11.9	9.0	6.1	350
<i>Spathodea campanulata</i>	58.0	5.8	8.5	360

**Apéndice.** Datos de campo por parcela. Los árboles están de acuerdo al Asimut. Detalles en los métodos. El diámetro a la altura del pecho es el DBH (continuación).

Espece	DBH (cm)	Longitud/Altura (m)	Distancia (m)	Asimut
Parcela 3 (31 m de elevación)				
<i>Delonix regia</i>	4.9	5.0	0.60	5
<i>Delonix regia</i>	3.1	5.2	2.03	5
<i>Leucaena leucocephala</i>	6.4	8.0	1.56	5
<i>Albizia procera</i>	6.1	7.0	6.90	7
<i>Delonix regia</i>	4.6	6.0	2.63	7
<i>Albizia procera</i>	4.2	4.0	2.75	7.1
<i>Albizia procera</i>	7.2	2.0	7.20	8
<i>Leucaena leucocephala</i>	7.1	9.0	7.00	8
<i>Albizia procera</i>	10.0	10.0	7.10	9
<i>Leucaena leucocephala</i>	7.5	7.0	6.55	15
<i>Leucaena leucocephala</i>	5.7	2.2	3.00	17
<i>Leucaena leucocephala</i>	7.5	8.5	4.10	17
<i>Leucaena leucocephala</i>	7.2	6.0	7.90	20
<i>Albizia procera</i>	6.0	5.5	8.70	21
<i>Spathodea campanulata</i>	9.2	6.0	10.20	23
<i>Leucaena leucocephala</i>	5.3	6.8	8.30	25
<i>Albizia procera</i>	17.8	15.0	4.20	28
<i>Albizia procera</i>	6.4	4.3	8.70	28.5
<i>Leucaena leucocephala</i>	7.0	3.0	9.60	34
<i>Leucaena leucocephala</i>	6.7	4.0	7.80	35
<i>Leucaena leucocephala</i>	6.1	5.0	5.30	36
<i>Leucaena leucocephala</i>	8.7	7.0	10.60	36
<i>Leucaena leucocephala</i>	5.7	6.5	4.50	39
<i>Albizia procera</i>	5.9	2.5	6.90	40
<i>Leucaena leucocephala</i>	26.1	18.0	9.70	43
<i>Leucaena leucocephala</i>	5.0	5.0	8.40	48
<i>Leucaena leucocephala</i>	6.3	5.0	7.70	49
<i>Albizia procera</i>	11.5	8.0	10.40	50
<i>Albizia procera</i>	10.6		8.80	51
<i>Leucaena leucocephala</i>	10.0	12.0	8.90	56
<i>Leucaena leucocephala</i>	5.0	6.0	3.90	57
<i>Leucaena leucocephala</i>	6.2	8.2	3.70	57
<i>Leucaena leucocephala</i>	5.2	5.2	9.80	69
<i>Albizia procera</i>	8.6	8.7	10.40	70
<i>Leucaena leucocephala</i>	6.1	5.0	8.50	70
<i>Albizia procera</i>	8.0	6.0	5.40	166
<i>Leucaena leucocephala</i>	5.7	2.0	5.90	166
<i>Leucaena leucocephala</i>	6.5	8.0	7.11	178

**Apéndice.** Datos de campo por parcela. Los árboles están de acuerdo al Asimut. Detalles en los métodos. El diámetro a la altura del pecho es el DBH (continuación).

Especie	DBH (cm)	Longitud/Altura (m)	Distancia (m)	Asimut
<i>Leucaena leucocephala</i>	5.7	7.0	6.80	178
<i>Carapa guianensis</i>	7.0	5.8	10.30	183
<i>Delonix regia</i>	7.3	5.0	9.70	183
<i>Albizia procera</i>	10.0	11.0	9.30	184
<i>Leucaena leucocephala</i>	8.3	8.0	9.60	184
<i>Albizia procera</i>	19.0	15.0	4.16	188
<i>Citharexylum fruticosum</i>	5.4	13.0	3.75	188
<i>Delonix regia</i>	17.1	17.0	2.04	188
<i>Delonix regia</i>	4.7	4.0	2.04	188
<i>Delonix regia</i>	47.0	17.0	3.12	188
<i>Delonix regia</i>	3.0	4.6	2.04	188
<i>Albizia procera</i>	16.4	14.0	0.77	189
<i>Albizia procera</i>	9.0	8.7	8.35	194
<i>Delonix regia</i>	5.3	5.0	5.23	198
<i>Delonix regia</i>	8.8	5.8	1.63	203
<i>Delonix regia</i>	4.5	5.0	1.70	203
<i>Delonix regia</i>	19.3	20.0	1.31	203
<i>Delonix regia</i>	5.6	5.0	6.94	220
<i>Leucaena leucocephala</i>	7.4	7.5	2.90	222
<i>Citharexylum fruticosum</i>	6.5	6.0	9.54	238
<i>Albizia procera</i>	10.7	9.0	7.70	258
<i>Albizia procera</i>	18.8	16.0	7.70	258
<i>Albizia procera</i>	21.7	16.5	7.70	258
<i>Citharexylum fruticosum</i>	17.1	8.0	8.20	258
<i>Delonix regia</i>	5.7	4.2	8.90	268
<i>Albizia procera</i>	5.9	5.0	5.84	276
<i>Leucaena leucocephala</i>	5.3	5.0	1.94	299
<i>Albizia procera</i>	5.2	13.0	5.56	300
<i>Leucaena leucocephala</i>	9.9	10.0	7.33	300
<i>Albizia procera</i>	10.6	12.0	10.71	320
<i>Albizia procera</i>	28.7	16.0	7.40	330
<i>Leucaena leucocephala</i>	6.1	3.0	4.98	338
<i>Albizia procera</i>	13.9	12.0	5.00	345
<i>Albizia procera</i>	13.7	15.0	7.41	345
<i>Albizia procera</i>	14.0	14.0	5.83	350
<i>Albizia procera</i>	15.5	15.5	5.83	350
Parcela 4 (56 m de elevación)				
<i>Exostema caribaeum</i>	6.2	8.0	9.49	5
<i>Citharexylum fruticosum</i>	22.1	11.0	8.50	10

**Apéndice.** Datos de campo por parcela. Los árboles están de acuerdo al Asimut. Detalles en los métodos. El diámetro a la altura del pecho es el DBH (continuación).

Especie	DBH (cm)	Longitud/Altura (m)	Distancia (m)	Asimut
<i>Exostema caribaeum</i>	1.1	7.0	10.40	19
<i>Coccoloba diversifolia</i>	8.5	6.0	9.36	21
<i>Coccoloba diversifolia</i>	14.8	8.2	3.95	22
<i>Coccoloba diversifolia</i>	16.1	10.3	8.88	22
<i>Coccoloba diversifolia</i>	9.1	4.8	7.16	23
<i>Guatterria caribaea</i>	8.9	9.0	11.00	27
<i>Coccoloba diversifolia</i>	3.1	3.0	1.78	28
<i>Coccoloba diversifolia</i>	9.8	12.0	1.78	28
<i>Citharexylum fruticosum</i>	9.7	13.0	9.47	30
<i>Coccoloba diversifolia</i>	6.7	14.0	8.98	30
<i>Coccoloba diversifolia</i>	15.3	8.0	8.98	30
<i>Coccoloba diversifolia</i>	6.5	6.0	1.95	31
<i>Eucalyptus robusta</i>	7.5	6.5	11.00	38
<i>Coccoloba diversifolia</i>	14.7	12.0	5.08	44
<i>Coccoloba diversifolia</i>	13.1	8.0	5.08	44
<i>Coccoloba diversifolia</i>	17.7	5.0	10.63	50
<i>Coccoloba diversifolia</i>	25.3	17.0	8.42	60
<i>Guapira fragans</i>	26.9	16.5	5.21	60
<i>Ficus laevigata</i>	5.2	3.0	9.32	76
<i>Ficus laevigata</i>	10.2	7.0	9.17	76
<i>Eugenia lancea</i>	5.3	4.5	5.16	78
<i>Eugenia rondicolia</i>	23.7	14.0	2.28	80
<i>Eugenia rondicolia</i>	6.7	6.0	8.56	82
<i>Exostema caribaeum</i>	17.7	15.0	8.25	90
<i>Eucalyptus robusta</i>	7.1	7.0	8.36	91.5
<i>Coccoloba diversifolia</i>	19.9	13.8	9.26	100
<i>Eugenia lancea</i>	9.5	8.5	4.45	100
<i>Citharexylum fruticosum</i>	14.9	13.0	9.80	102
<i>Bourreria succulenta</i>	6.1	5.0	9.63	116
<i>Eucalyptus robusta</i>	6.1	7.0	6.46	118
<i>Eugenia rondicolia</i>	19.7	12.0	6.14	132
<i>Bucida buceras</i>	24.7	12.0	2.56	152
<i>Bucida buceras</i>	8.5	10.0	2.56	152
<i>Bucida buceras</i>	6.8	8.0	2.56	152
<i>Coccoloba diversifolia</i>	17.3	13.0	7.60	168
<i>Coccoloba diversifolia</i>	16.2	8.0	6.70	176
<i>Krugiodendron ferreum</i>	5.4	8.0	6.95	176
<i>Citharexylum fruticosum</i>	16.6	12.5	11.00	180
<i>Eugenia monticola</i>	5.0	6.0	10.41	202

**Apéndice.** Datos de campo por parcela. Los árboles están de acuerdo al Asimut. Detalles en los métodos. El diámetro a la altura del pecho es el DBH (continuación).

Especie	DBH (cm)	Longitud/Altura (m)	Distancia (m)	Asimut
<i>Exostema caribaeum</i>	9.1	7.0	6.83	204
<i>Eugenia monticola</i>	7.6	9.0	7.57	207
<i>Eugenia lancea</i>	7.9	7.8	5.87	208
<i>Citharexylum fruticosum</i>	10.4	13.0	8.73	213
<i>Coccoloba diversifolia</i>	13.6	13.5	9.52	214
<i>Guatterria caribaea</i>	7.2	7.0	11.00	236
<i>Exostema caribaeum</i>	10.7	11.0	6.46	238
<i>Guatterria caribaea</i>	7.4	10.6	8.48	238
<i>Eugenia rondicola</i>	9.9	5.0	8.15	239
<i>Bursera simaruba</i>	39.4	17.0	3.26	240
<i>Citharexylum fruticosum</i>	17.1	8.0	11.00	244
<i>Coccoloba diversifolia</i>	12.2	6.8	7.20	250
<i>Krugiodendron ferreum</i>	7.0	5.5	2.70	250
<i>Krugiodendron ferreum</i>	4.7	3.5	2.70	250
<i>Krugiodendron ferreum</i>	2.9	3.0	2.70	250
<i>Krugiodendron ferreum</i>	3.2	2.0	2.70	250
<i>Coccoloba diversifolia</i>	7.9	9.0	3.00	278
<i>Krugiodendron ferreum</i>	8.1	7.0	8.50	280
<i>Coccoloba diversifolia</i>	11.0	7.0	4.60	284
<i>Eugenia lancea</i>	3.5	2.5	1.70	284
<i>Bucida buceras</i>	13.5	12.0	11.00	286
<i>Bucida buceras</i>	11.1	10.0	11.00	286
<i>Guatterria caribaea</i>	6.1	6.5	9.83	290
<i>Maitenus eliptica</i>	6.6	5.5	7.40	296
<i>Coccoloba diversifolia</i>	10.8	11.0	5.22	302
<i>Coccoloba diversifolia</i>	17.0	11.0	5.48	320
<i>Coccoloba diversifolia</i>	10.1	9.8	5.48	320
<i>Bucida buceras</i>	25.9	13.0	8.32	332
<i>Bucida buceras</i>	22.7	14.5	8.32	332
<i>Bucida buceras</i>	27.4	16.0	8.32	332
<i>Eugenia rondicola</i>	17.8	14.0	5.36	358
<i>Coccoloba diversifolia</i>	7.8	10.0	3.94	358
Parcela 5 (92 m de elevación)				
<i>Coccoloba diversifolia</i>	12.8	8.5	2.2	4
<i>Sideroxylon foetidissimum</i>	7.2	5	3.5	5
<i>Coccoloba diversifolia</i>	6.4	5.5	2.2	10
<i>Coccoloba diversifolia</i>	3.5	4	2.1	10
<i>Coccoloba diversifolia</i>	6.2	6.5	8.2	10
<i>Coccoloba diversifolia</i>	11.3	6	4.2	10

**Apéndice.** Datos de campo por parcela. Los árboles están de acuerdo al Asimut. Detalles en los métodos. El diámetro a la altura del pecho es el DBH (continuación).

Especie	DBH (cm)	Longitud/Altura (m)	Distancia (m)	Asimut
<i>Coccoloba diversifolia</i>	7.3	6	7.4	18
<i>Coccoloba diversifolia</i>	6.5	6	7.4	18
<i>Coccoloba diversifolia</i>	6.9	4	7.4	18
<i>Bucida buceras</i>	21.5	14	2	20
<i>Bucida buceras</i>	21.5	13	2	20
<i>Bucida buceras</i>	8.8	1.5	2	20
<i>Bucida buceras</i>	2.5	3.5	2	20
<i>Coccoloba diversifolia</i>	12	7	9.3	42
<i>Coccoloba diversifolia</i>	13.1	8	10.2	53
<i>Sideroxylon salicifolium</i>	11.2	8	8	62
<i>Ficus laevigata</i>	40.2	13	10.6	68
<i>Bursera simaruba</i>	18.2	12.5	11	74
<i>Coccoloba diversifolia</i>	17.9	10	9.3	74
<i>Bursera simaruba</i>	25.1	11	5	84
<i>Bursera simaruba</i>	31.2	12.5	5	84
<i>Coccoloba diversifolia</i>	15.2	9	8.1	84
<i>Coccoloba diversifolia</i>	9.3	6.5	5.8	84
<i>Coccoloba diversifolia</i>	7.5	9	3.7	90
<i>Sideroxylon salicifolium</i>	11.5	10	5	96
<i>Coccoloba diversifolia</i>	7.6	4	3.5	108
<i>Coccoloba diversifolia</i>	12.2	6.5	3.5	110
<i>Coccoloba diversifolia</i>	7.1	6.5	10.1	110
<i>Bourreria succulenta</i>	8.7	6.5	8.7	117
<i>Coccoloba diversifolia</i>	5.8	6	4	130
<i>Coccoloba diversifolia</i>	9.5	9	5.9	140
<i>Coccoloba diversifolia</i>	14.2	10.6	3.25	144
<i>Ficus laevigata</i>	25.45	12.75	3.88	146
<i>Ficus laevigata</i>	20.9	13.5	3.88	146
<i>Ficus laevigata</i>	19.1	10	3.88	146
<i>Coccoloba diversifolia</i>	17.25	11	8.8	158
<i>Coccoloba diversifolia</i>	6.1	7	8.5	162
<i>Coccoloba diversifolia</i>	16.73	12.6	9.5	162
<i>Bourreria succulenta</i>	11.65	14	8.65	165
<i>Coccoloba diversifolia</i>	12.8	10	9.4	165
<i>Coccoloba diversifolia</i>	7.9	7.5	8.42	166
<i>Ficus laevigata</i>	10.3	8.25	1.9	168
<i>Coccoloba diversifolia</i>	27.2	15	8.6	170
<i>Coccoloba diversifolia</i>	6	4	4.5	180
<i>Coccoloba diversifolia</i>	5.1	11.5	11	185

**Apéndice.** Datos de campo por parcela. Los árboles están de acuerdo al Asimut. Detalles en los métodos. El diámetro a la altura del pecho es el DBH (continuación).

Espece	DBH (cm)	Longitud/Altura (m)	Distancia (m)	Asimut
<i>Coccoloba diversifolia</i>	6.25	7	8.7	200
<i>Coccoloba diversifolia</i>	14.75	10.3	9.7	201
<i>Coccoloba diversifolia</i>	14.6	9	9.7	201
<i>Eugenia rondicolia</i>	27.9	15	9.35	215
<i>Adenantha pavonina</i>	6.1	8.5	6.6	235
<i>Adenantha pavonina</i>	12.7	9	7.9	236
<i>Coccoloba diversifolia</i>	5.3	7.25	7.63	260
<i>Coccoloba diversifolia</i>	6.9	7.25	7.63	260
<i>Coccoloba diversifolia</i>	13.7	11	8.25	270
<i>Coccoloba diversifolia</i>	11.4	10	8.25	270
<i>Carapa guianensis</i>	5.1	7.75	9.15	275
<i>Coccoloba diversifolia</i>	8.55	8	9.95	277
<i>Coccoloba diversifolia</i>	13.9	3	7.85	279
<i>Adenantha pavonina</i>	7.7	12.25	10.2	280
<i>Coccoloba diversifolia</i>	16.1	12	5.7	290
<i>Coccoloba diversifolia</i>	7.6	7.5	5.7	290
<i>Coccoloba diversifolia</i>	11.6	10	5.7	290
<i>Coccoloba diversifolia</i>	14.55	13.25	2.05	292
<i>Adenantha pavonina</i>	6.2	9	9.8	295
<i>Coccoloba diversifolia</i>	5	3	8.3	296
<i>Bucida buceras</i>	28.35	15	3	297
<i>Bucida buceras</i>	24.9	16	3	297
<i>Coccoloba diversifolia</i>	5.9	3	2	297
<i>Coccoloba diversifolia</i>	7.3	7	4.35	300
<i>Coccoloba diversifolia</i>	4.5	9.75	10.3	302
<i>Coccoloba diversifolia</i>	9.5	9.5	1.1	

## EFFECTOS DEL HURACÁN GEORGES EN EL CRECIMIENTO DE ÁRBOLES EN UN BOSQUE SECUNDARIO EN EL INTERIOR DE PUERTO RICO

Ariel E. Lugo<sup>1</sup>, Carlos Domínguez Cristóbal<sup>1</sup> y Noemí Méndez Irizarry<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Internacional de Dasonomía Tropical

Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América  
1201 Calle Ceiba, Jardín Botánico Sur, Río Piedras, Puerto Rico 00926-1119

<sup>2</sup>Distrito Escolar de Utuado

Escuela Superior Vocacional Luis Muñoz Rivera  
Utuado, Puerto Rico

### ABSTRACT

From 1995 to 2003 we measured growth in basal area and height of all trees with a diameter at breast height (1.3m) of  $\geq 2$  and  $< 4$ cm (understory trees) and  $\geq 4$ cm (canopy trees) in a secondary forest located in Utuado's coffee zone. The forest is in the subtropical wet life zone transitioning to humid in the Jácana sector of Caguana Ward. During September 21-22, 1998, hurricane Georges passed through the stand with maximum sustained winds of 184 km/h and gusts of 240 km/h. Growth rates were analyzed during three stages: before the hurricane, immediately after the hurricane, and four years after the hurricane. In addition, growth rates per species and individual trees were compared. The database consisted of 374 and 524 growth determinations for canopy and understory trees, respectively. This includes 91 and 162; 133 and 224; and 150 and 138 growth determinations for canopy and understory trees before, immediately after, and four years after the hurricane, respectively. The trees in the canopy grew in basal area and height ten times faster than those in the understory. Growth rates for trees in the canopy were greater than those observed in mature forests and other secondary forests, but similar to those observed in tree plantations. *Cecropia peltata* (synonymous with *Cecropia schreberiana*) and *Didymopanax morototoni* (synonymous with *Schefflera morototoni*) were the species that exhibited the fastest growth. The hurricane caused an increase in variability in growth rates and differentially impacted canopy trees vs. understory trees. Canopy trees increased growth rates in basal area and decreased growth rates in height immediately after the hurricane. In the understory, growth rates in basal area did not immediately change after the hurricane but growth rates in height were significantly reduced. Four years later, understory trees exhibited reduced growth rates in basal area and increased, although not at pre-hurricane levels, growth levels in height. Canopy trees had returned to pre-hurricane growth rates four years after the event. The results reflect that, there is a resilience pulse in canopy trees, immediately after the hurricane and corroborates high growth rates in these secondary forests.

### ABSTRACTO

Se midió el crecimiento en área basal y altura de todos los árboles con diámetro a la altura del pecho (1.3m)  $\geq 2$  y  $< 4$ cm (árboles del sotobosque) y  $\geq 4$ cm (árboles del dosel) entre el 1995 y 2003 en un bosque secundario en la zona cafetalera de Utuado. El bosque se localiza en la zona de vida subtropical muy húmeda transición a húmeda del sector Jácana en el Barrio Caguana. Entre el 21 y 22 de septiembre del 1998 pasó sobre el rodal el huracán Georges con vientos máximos sostenidos de 184 km/h y ráfagas de 240 km/h. Se analizaron las tasas de crecimiento durante tres intervalos de tiempo: antes del

huracán, inmediatamente después del huracán y cuatro años después del huracán. Además, se compararon las tasas de crecimiento por especie y por árboles individuales. La base de datos consistió de 374 y 524 tasas de crecimiento para árboles del dosel y sotobosque, respectivamente. Esto incluye 91 y 162; 133 y 224; y 150 y 138 tasas de crecimiento para dosel y sotobosque antes, inmediatamente después y cuatro años después del paso del huracán, respectivamente. Los árboles del dosel crecieron en área basal y altura diez veces más rápido que los árboles del sotobosque. Las tasas de crecimiento de los árboles del dosel fueron más altas que las observadas en bosques maduros y otros bosques secundarios, pero similares a las observadas en plantaciones madereras. Las especies de más rápido crecimiento fueron *Cecropia peltata* (sinónimo con *Cecropia schreberiana*) y *Didymopanax morototoni* (sinónimo con *Schefflera morototoni*). El huracán causó un aumento en variabilidad en las tasas de crecimiento e impactó diferencialmente a los árboles del dosel vs. los del sotobosque. Los árboles del dosel aumentaron sus tasas de crecimiento en área basal y disminuyeron las tasas de crecimiento en altura inmediatamente después del huracán. En el sotobosque, las tasas de crecimiento en área basal no cambiaron inmediatamente después del huracán, pero las tasas de crecimiento en altura se redujeron significativamente. Cuatro años después, los árboles del sotobosque redujeron sus tasas de crecimiento en área basal y aumentaron, pero no a los niveles pre-huracán, sus tasas de crecimiento en altura. Los árboles del dosel habían retornado a las tasas de crecimiento pre-huracán a los cuatro años del evento. Los resultados reflejan un pulso de resiliencia inmediatamente después del huracán de parte de los árboles del dosel y corrobora altas tasas de crecimiento en estos bosques secundarios.

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento de árboles es uno de los elementos principales de la productividad primaria de los bosques. Sin embargo, a pesar de su importancia, en los trópicos existen relativamente pocos datos publicados para bosques naturales sobre este parámetro. La razón se debe a que los árboles tropicales no producen anillos de crecimiento anuales y por lo tanto, para determinar su tasa de crecimiento es necesario marcar cada árbol del rodal y llevar a cabo medidas repetitivas de sus dimensiones (diámetro, altura, volumen o biomasa). Por lo general, existen pocos rodales con árboles marcados y medidas repetitivas a largo plazo. En Puerto Rico, la mayoría de esos estudios se llevan a cabo en el Bosque Experimental de Luquillo (Brown *et al.* 1983) y en otros bosques públicos (Weaver 1979, 1983).

Con el establecimiento en el 1995 de un rodal experimental permanente en el bosque en Caguana (Popper *et al.* 1999; Lugo *et al.* 2005), tuvimos la oportunidad de medir las tasas de crecimiento de los árboles de un bosque secundario en la zona cafetalera de Utuado, Puerto Rico. El bosque surgió del abandono de un cafetal y está ubicado en

la zona de vida subtropical muy húmeda transición a húmeda (E. Helmer, *comunicación personal*). Entre el 21 y 22 de septiembre del 1998 pasó sobre el rodal el huracán Georges con vientos máximos sostenidos de 184 km/h y ráfagas de 240 km/h. Por lo tanto, también tuvimos la oportunidad de evaluar el efecto del huracán sobre las tasas de crecimiento de los árboles de este bosque.

Este estudio tiene tres objetivos. Primero, establecer la magnitud y variación en las tasas de crecimiento de los árboles del bosque en Caguana. Segundo, establecer diferencias, si algunas, en el crecimiento de las especies dominantes del bosque. Tercero, determinar el efecto del huracán Georges sobre el crecimiento de los árboles del bosque en Caguana. Con esta información comparamos los resultados con las observaciones en otros bosques de Puerto Rico y contribuimos al conocimiento de la función y resiliencia de los bosques secundarios nuevos de Puerto Rico (*sensu* Lugo y Helmer 2004).

## MÉTODOS

La descripción del lugar de estudio y los métodos que utilizamos están explicados en Popper *et al.* (1999) y Lugo *et al.* (2005). Cada árbol en

un rodal de aproximadamente 50 X 20 m (1030 m<sup>2</sup>) se identificó por especie, se le asignó un número y se le midió la altura con una vara calibrada en metros y el diámetro a la altura del pecho (dap a 1.3 m) con una cinta diamétrica de tela. Las medidas incluyeron los árboles del sotobosque (dap  $\geq$  2cm y  $<$  4cm) y los árboles del dosel (dap  $\geq$  4cm). La nomenclatura de especies siguió a Molina y Alemañy (1997).

El estudio comenzó en septiembre del 1995 y terminó en abril del 2003. Entre esas dos fechas, las mediciones se llevaron a cabo en distintos momentos y no todos los árboles se midieron en cada fecha (Tabla 1). Las fechas en que se completaron los inventarios del rodal fueron: septiembre del 1995 a febrero del 1996, octubre del 1997 a marzo del 1998, diciembre del 1998 a enero del 1999 y en abril del 2003, cuando se midió todo el rodal en un mes. Las tasas de crecimiento de árboles se estimaron para todos aquellos intervalos para los cuales teníamos medidas consecutivas de diámetro y altura. Luego se agruparon las tasas de crecimiento en tres periodos: 1995 a 1997 (correspondiente a tasas antes del huracán), 1998 a 1999 (correspondiente a tasas inmediatamente después del huracán y 1999 a 2003) (correspondiente a tasas cuatro años después del huracán).

Para estimar el crecimiento en área basal de los árboles, los datos se transformaron de diámetro a área basal (AB) utilizando la siguiente fórmula:

$$AB = \pi r^2$$

donde r es el dap/2 y  $\pi = 3.14$ . Luego estimamos el crecimiento del árbol utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{crecimiento en cm}^2/\text{año} = (AB_2 - AB_1)/(t_2 - t_1)$$

Donde AB es el área basal (cm<sup>2</sup>) en dos fechas consecutivas (t<sub>1</sub> y t<sub>2</sub>), expresando el intervalo entre mediciones en años. Para estimar el crecimiento de cada árbol utilizamos todas las fechas disponibles cuando el árbol se midió repetitivamente durante el transcurso del estudio. Luego se combinaron los resultados por árbol y por especie. El crecimiento en área basal del bosque en Caguana se estimó sumando las áreas basales de todos los árboles (sotobosque y dosel), dividiendo por el área del rodal y dividiendo por el intervalo de tiempo entre mediciones.

Para estimar las tasas de crecimiento en altura, utilizamos la siguiente fórmula:

$$\text{crecimiento en m/año} = (A_2 - A_1)/(t_2 - t_1)$$

Donde A es la altura medida en dos intervalos consecutivos (t<sub>1</sub> y t<sub>2</sub>) expresados en años.

La base de datos incluye 374 tasas de crecimiento en altura y área basal para árboles del dosel (91; 133 y 150 tasas antes, inmediatamente después y 4 años después del paso del huracán Georges, respectivamente). Para el sotobosque, el número de tasas de crecimiento en altura y área basal fue de 524 (162; 224 y 138 tasas antes, inmediatamente después y 4 años después del paso del huracán Georges, respectivamente). Cada tasa de crecimiento incluye el área basal y la altura del árbol. El coeficiente de variación se estimó dividiendo la desviación estándar por el promedio de la muestra. Las diferencias en crecimiento entre especies y entre fechas de medición se analizaron con ANOVA para un factor de  $p \leq .05$ . La prueba t para muestras con variabilidad disimilares se utilizó para determinar si los promedios de crecimiento de dos especies diferían a  $p \leq .05$ . Los análisis estadísticos se hicieron con Excel 11.2 para Macintosh.

## RESULTADOS

El crecimiento en área basal del rodal fue de 2.2 m<sup>2</sup>/ha.año antes del huracán y 2.5 m<sup>2</sup>/ha.año inmediatamente después del huracán (entre marzo del 1998 y diciembre del 1998) y bajó a 1.2 m<sup>2</sup>/ha.año entre diciembre del 1998 y abril del 2004.

### Tasas de Crecimiento por Árbol

Las tasas de crecimiento en área basal de los árboles del dosel (Fig. 1a) fue 10 veces mayor a las tasas de los árboles del sotobosque (Fig. 1b). La mayor parte de los árboles del dosel crecieron a tasas menores a 6 cm<sup>2</sup>/año (Fig. 1a). En el 1988, inmediatamente después del huracán, casi la mitad de los árboles del dosel no crecieron, aunque sobre el 10 por ciento de los árboles exhibieron tasas de crecimiento mayores a 50 cm<sup>2</sup>/año. Para el 2004, había más árboles que crecían a tasas entre 2 y 8 cm<sup>2</sup>/año que lo observado inmediatamente después del huracán. En el sotobosque (Fig. 1b), los mayores cambios temporales en el crecimiento en área basal ocurrieron en las tasas de 0.2 a 1.4 cm<sup>2</sup>/año. Los

**TABLA 1.** Fechas cuando se midieron los árboles del bosque secundario en Caguana en Utuado, Puerto Rico. El diámetro a la altura del pecho es dap. El huracán Georges pasó sobre el bosque entre el 19 y 20 de septiembre del 1998.

Parámetro	Fecha
Árboles $\geq 4$ cm dap	
Números 1-38*	Septiembre, 1995
Números 39-72*	Octubre, 1995
Números 73-134*	Noviembre, 1995
Números 135-187*	Diciembre, 1995
Números 188-230*	Enero, 1996
Números 231-267*	Febrero, 1996
Números 1-76	Octubre, 1997
Números 77-146	Noviembre, 1997
Números 147-239	Diciembre, 1997
Números 240-329	Enero, 1998
Números 330-405	Febrero, 1998
Números 406-531	Marzo, 1998
Números 1-267	Diciembre, 1998
Números 269-531	Enero, 1999
Números 1-548	Abril, 2003
Árboles 2 a 3.99 cm dap	
Números 1-266	Septiembre, 1995 a febrero, 1996
Números 1-531	Octubre, 1997 a febrero-marzo, 1998
Números 1-531	Diciembre, 1998 a enero, 1999
Números 1-770	Abril, 2003

\*Las medidas de los árboles 1-267 corresponden a la mitad del rodal.

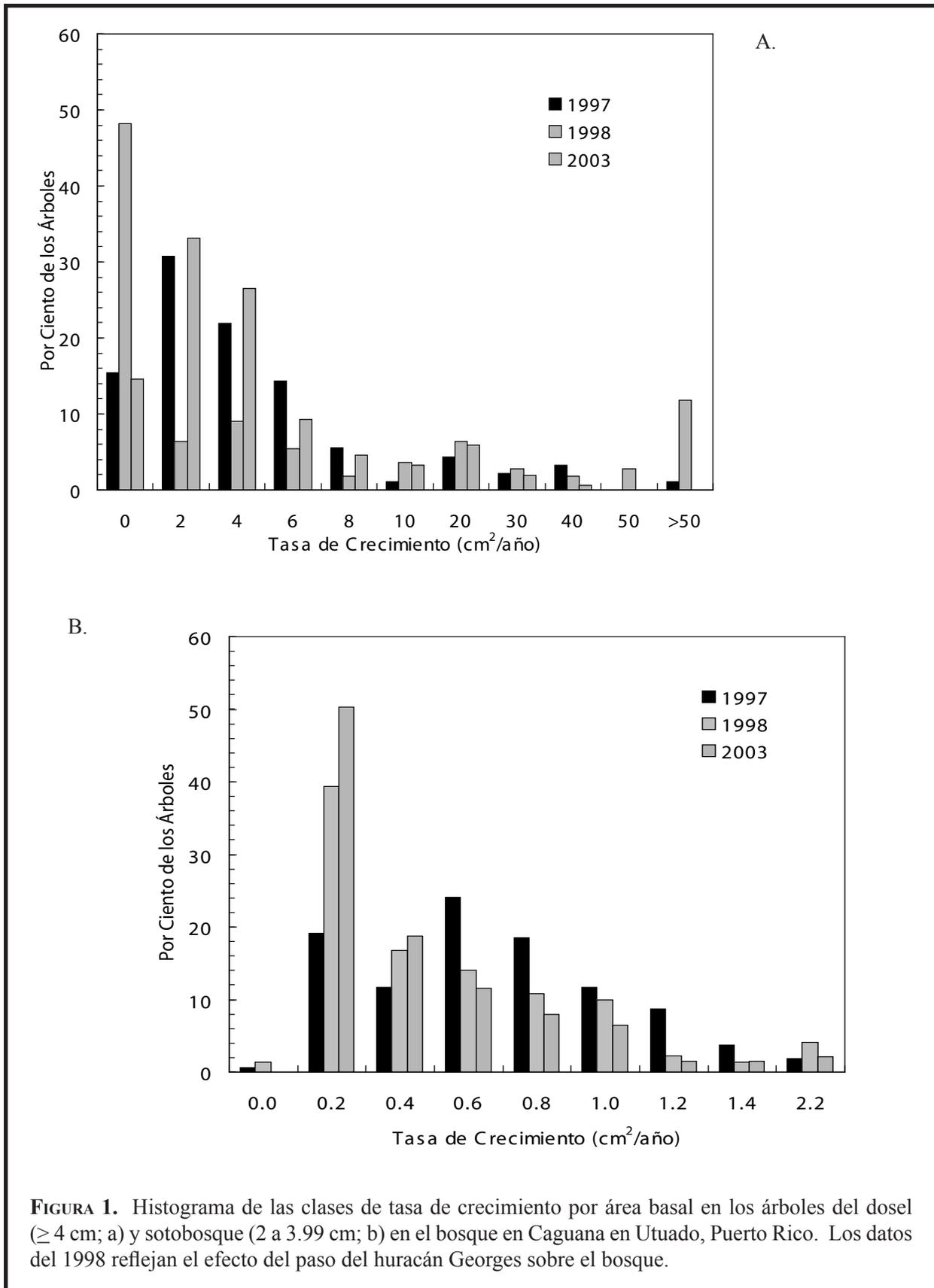
árboles del sotobosque con tasas de crecimiento entre 0.2 y 0.4 cm<sup>2</sup>/año aumentaron en proporción después del huracán. Por el contrario, observamos disminuciones en la proporción de árboles del sotobosque en todas las tasas de crecimiento > 0.4cm<sup>2</sup>/año con excepción de tasas > 1.4cm<sup>2</sup>/año.

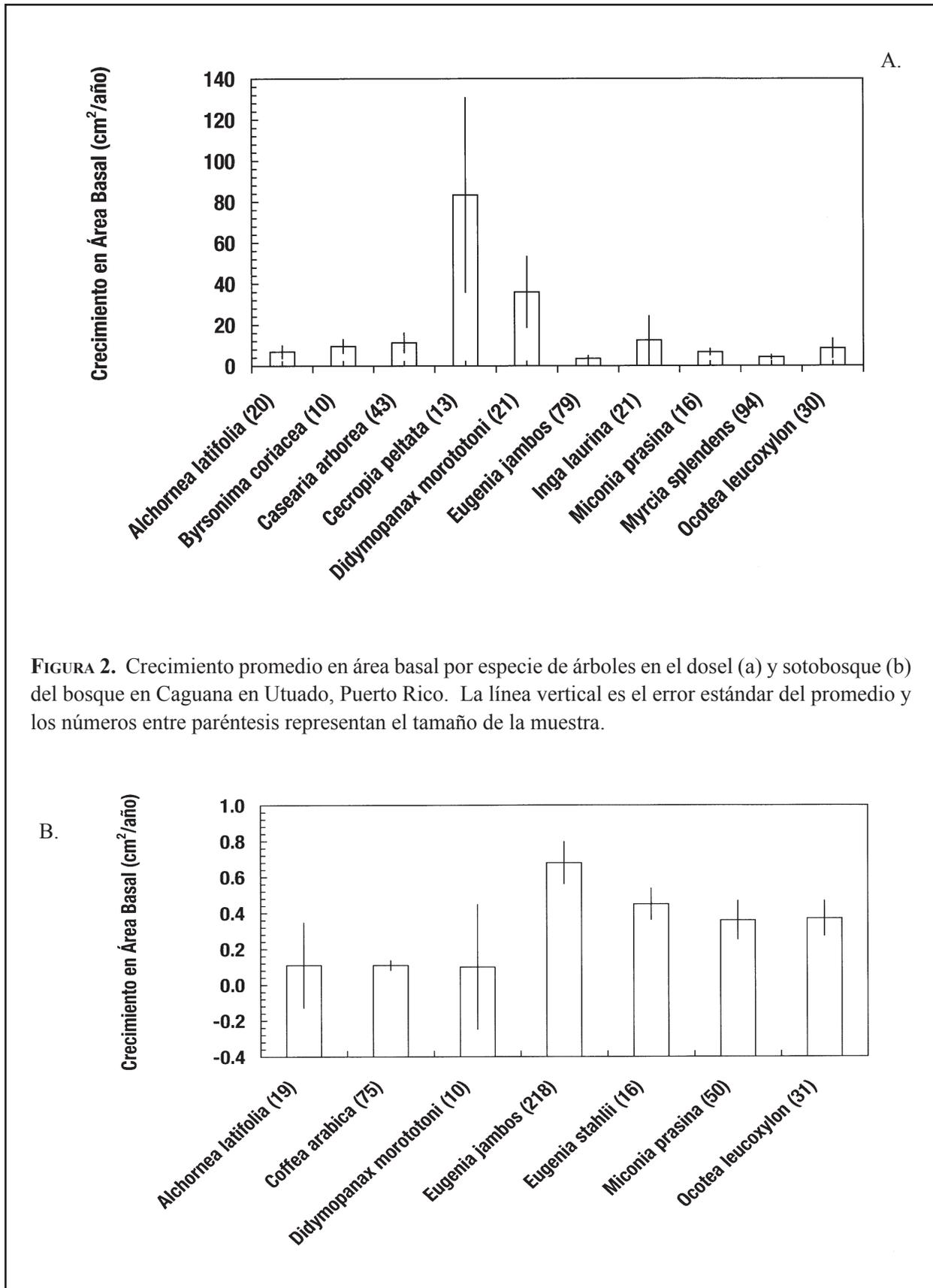
#### Tasas de Crecimiento por Especie

Observamos diferencias significativas en el crecimiento en área basal promedio de las especies del dosel y sotobosque ( $p < .000$ ; Fig. 2). *Cecropia peltata* (sinónimo con *Cecropia schreberiana*) y *Didymopanax morototoni* (sinónimo con *Schefflera morototoni*) exhibieron las tasas más altas de crecimiento en área basal entre las especies del

dosel (Fig. 2a). Ambas especies exhibieron una alta variación en la tasa de crecimiento. El resto de las especies crecieron a tasas más bajas y con menos variación alrededor del promedio. Las diferencias más significativas fueron entre *Didymopanax* y *Miconia prasina* ( $p < .043$ ) y entre *Cecropia* y *Miconia* ( $p < .061$ ).

En el sotobosque, el crecimiento más rápido se observó en *Eugenia jambos* (sinónimo con *Syzygium jambos*) (Fig. 2b). *Coffea arabica* exhibió poca variación en su crecimiento, mientras que otras especies, particularmente *Didymopanax* y *Alchornea latifolia*, exhibieron alta variación alrededor del promedio. La especie endémica *Eugenia stahlii* creció más rápido que *Coffea*





( $p < .000$ ). Otras diferencias notables fueron entre *Eugenia jambos* y *Eugenia stahlia* ( $p < .003$ ) y entre *Eugenia jambos* y *Alchornea* ( $p < .083$ ).

### Tasas de Crecimiento Antes y Después del Huracán

Las tasas de crecimiento en área basal de los árboles del dosel y las de altura para todos los árboles del bosque variaron significativamente entre el 1995 y el 2003 ( $p < .000$ ; Fig. 3). Las tasas más altas de crecimiento en área basal de los árboles del dosel se midieron inmediatamente después del huracán entre marzo del 1998 y enero del 1999 ( $p < .002$ ; Fig. 3a). Las tasas de crecimiento fueron más bajas, pero significativamente distintas antes y después de estas fechas ( $p < .005$  y  $< .043$ , respectivamente). Las tasas de crecimiento en altura en los árboles del dosel disminuyeron levemente inmediatamente después del huracán y aumentaron levemente a los cuatro años del paso del huracán (Fig. 3a). En el sotobosque, hubo una reducción significativa ( $p < .000$ ) en el crecimiento en altura inmediatamente después del huracán, pero no hubo diferencia en el crecimiento en área basal (Fig. 3b). El crecimiento en área basal se redujo significativamente en los árboles del sotobosque a los cuatro años del paso del huracán ( $p < .021$ ).

Las especies del dosel (Fig. 4a) exhibieron diferencias significativas en crecimiento en área basal antes y después del huracán ( $p < .000$ ). En el sotobosque (Fig. 4b), la significancia en las diferencias del crecimiento en área basal entre especies fue  $p < .124$ . Ninguna de las especies del dosel o del sotobosque en la Fig. 4, exhibieron diferencias significativas en su crecimiento en área basal durante el período de estudio, a pesar de las diferencias observadas en los promedios de crecimiento.

Las diferencias entre especies en su crecimiento en altura, fueron significativas tanto en el dosel (Fig. 5a;  $p < .000$ ) como en el sotobosque (Fig. 5b;  $p < .000$ ). En el dosel, la probabilidad de significancia para la diferencia en crecimiento temporal de cada especie fue: *Alchornea* ( $p < .040$ ), *Casearia arborea* ( $p < .110$ ), *Cecropia* ( $p < .05$ ), *Eugenia jambos* ( $p < .119$ ), *Inga laurina* ( $p < .119$ ), *Miconia* ( $p < .000$ ), *Myrcia splendens* ( $p < .000$ ) y *Ocotea leucoxydon*

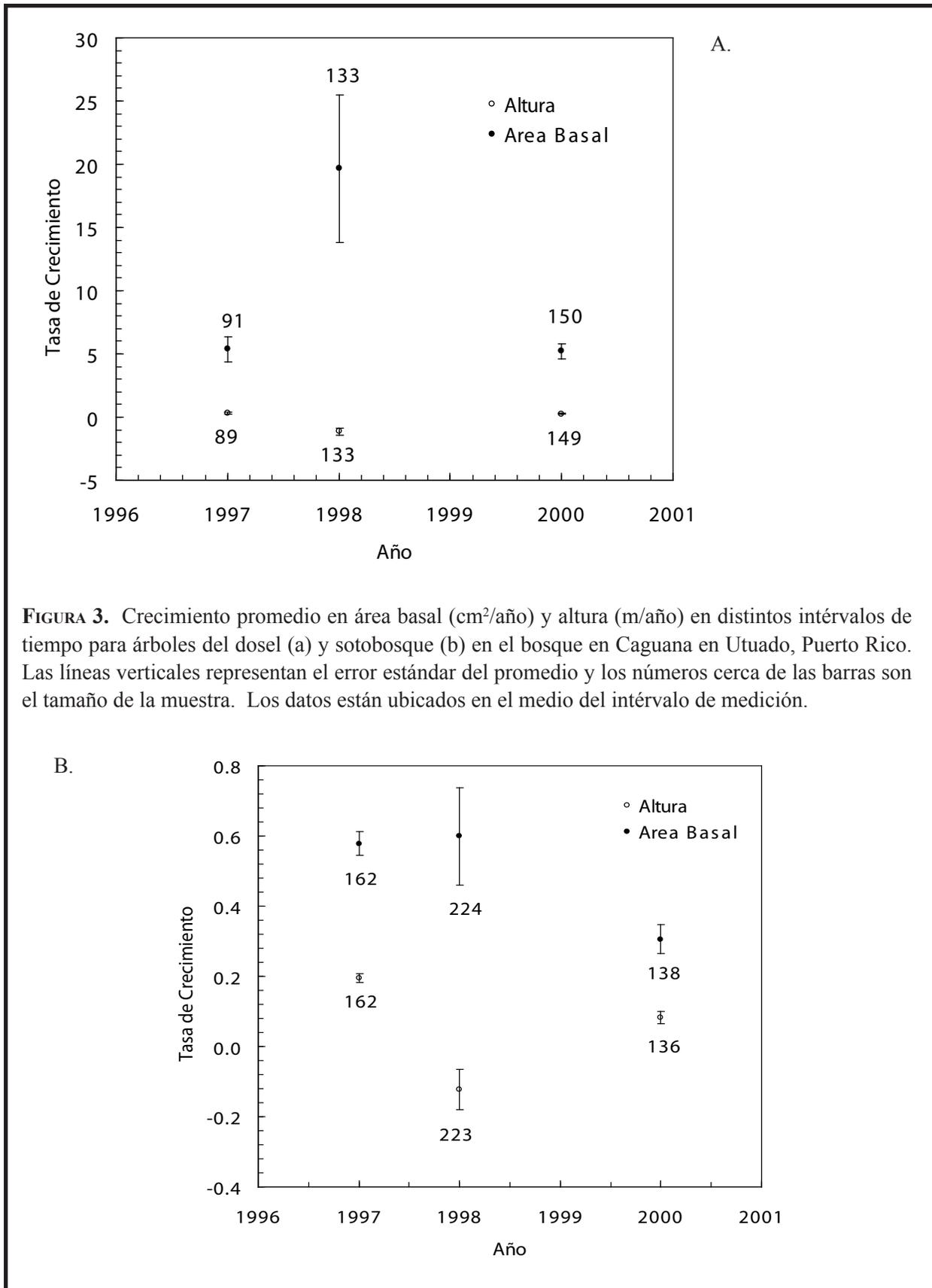
( $p < .100$ ). En el sotobosque, sólo *Coffea* exhibió una diferencia significativa ( $p < .002$ ) en su crecimiento temporal en altura.

## DISCUSIÓN

### Variación en el Crecimiento

La tasa de crecimiento promedio de los árboles del bosque en Caguana varió entre cero crecimiento (se incluye crecimiento negativo) hasta  $83 \text{ cm}^2/\text{año}$  (Figs. 1-2). Hubo una diferencia significativa en crecimiento entre los árboles del dosel y los del sotobosque. Esta diferencia se debe en parte a que los árboles del sotobosque generalmente están limitados por luz debido a la sombra del dosel. Los árboles del dosel tienen sus copas más expuestas a la luz solar que los árboles del sotobosque y por lo tanto pueden fotosintetizar a tasas más altas (Wadsworth 2000). En Caguana, esta diferencia se refleja en diez veces el crecimiento en área basal (Fig. 1) y diez veces en crecimiento en altura (Fig. 5) a favor de los árboles del dosel. Dawkins (1956) clasificó las copas de árboles en bosques tropicales maduros en cuatro categorías basado en la exposición a la luz. Tanto Wadsworth (1947) como Murphy (1970) han reportado diferencias en crecimiento de los árboles en Puerto Rico en función a la posición de la copa utilizando los criterios de Dawkins. Aquellos árboles con copas en el dosel completamente expuestas a la luz crecen más rápido que los árboles en el sotobosque con copas bajo la sombra del dosel.

La amplitud en las tasas de crecimiento en área basal (Figs. 1-2) se debe a varios factores incluso errores de medición, variación temporal en el crecimiento a causa del huracán y variación en el crecimiento por especies. Los valores negativos de crecimiento, particularmente después del huracán, llaman la atención y ameritan explicación. No podemos descartar errores de medición en área basal debido a que las tasas de crecimiento dependen de medidas periódicas de los árboles hechas por distintas personas, cada una con juicio propio sobre la ubicación de la medida a 1.3m de altura. Sin embargo, hay dos razones mitigantes que sugieren que el patrón de variación que observamos fue real a pesar de los potenciales errores de medición. El primero es que los coeficientes de variación



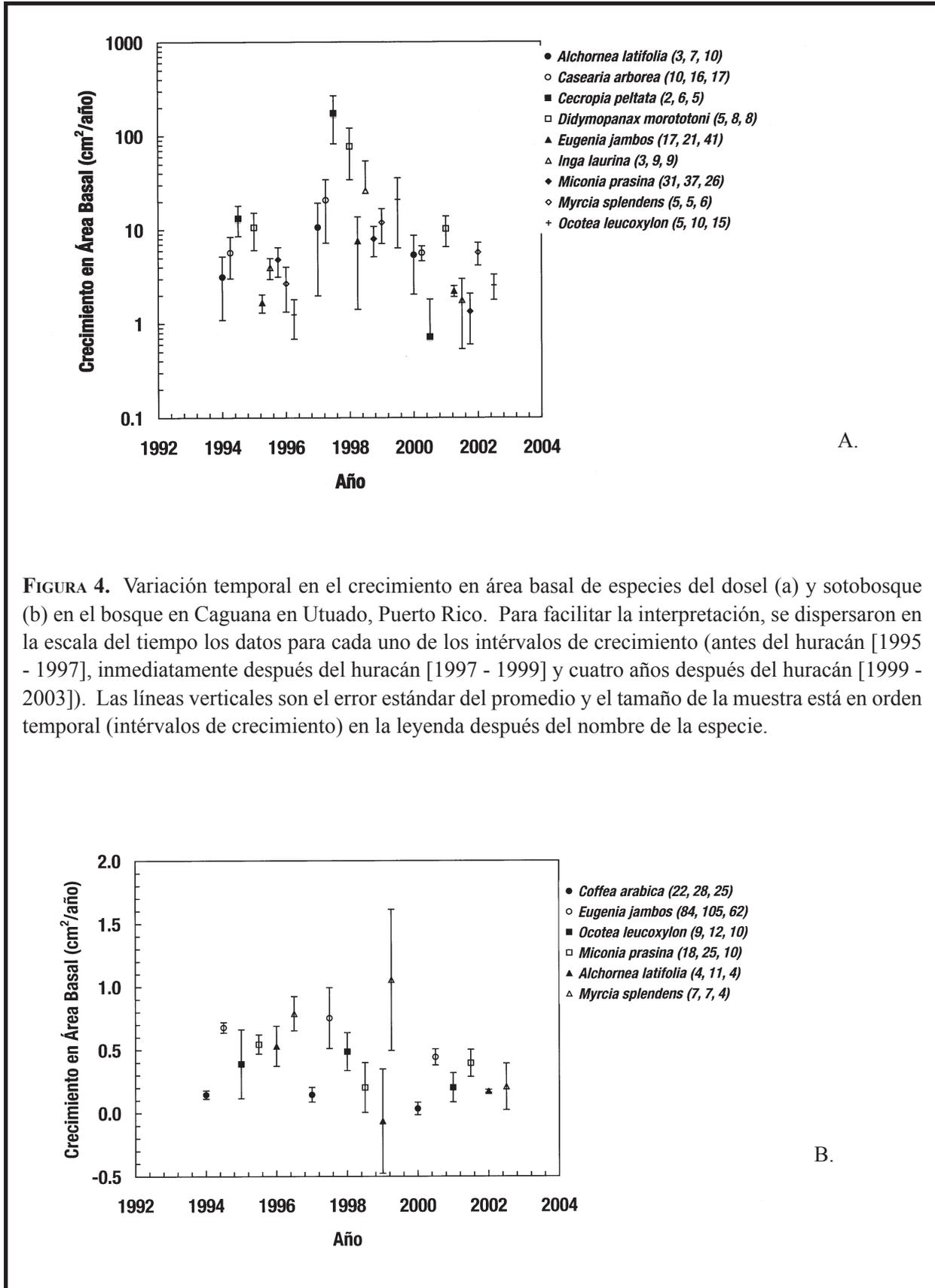
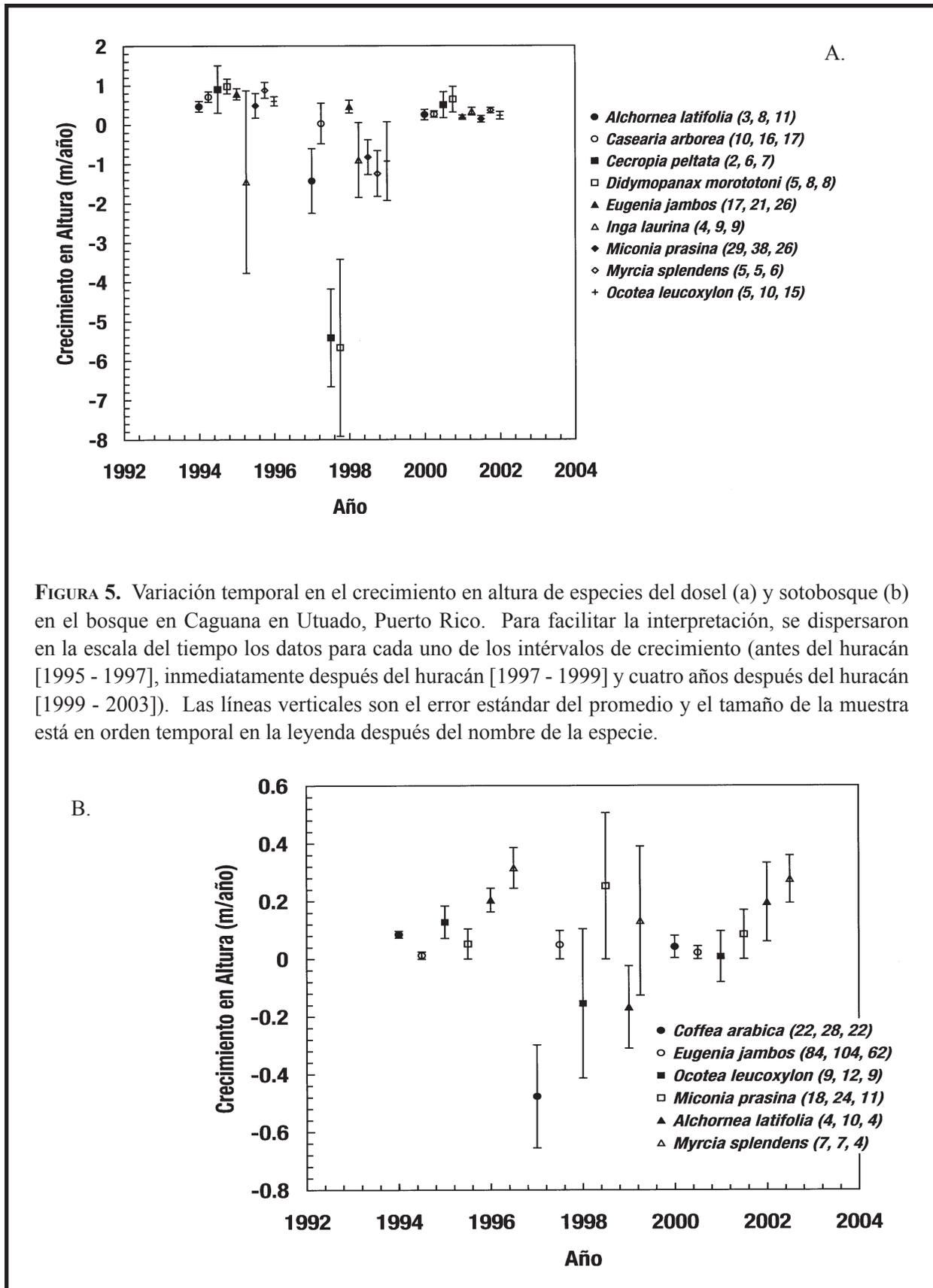


FIGURA 4. Variación temporal en el crecimiento en área basal de especies del dosel (a) y sotobosque (b) en el bosque en Caguana en Utuado, Puerto Rico. Para facilitar la interpretación, se dispersaron en la escala del tiempo los datos para cada uno de los intervalos de crecimiento (antes del huracán [1995 - 1997], inmediatamente después del huracán [1997 - 1999] y cuatro años después del huracán [1999 - 2003]). Las líneas verticales son el error estándar del promedio y el tamaño de la muestra está en orden temporal (intervalos de crecimiento) en la leyenda después del nombre de la especie.



siguieron un patrón asociado al paso del huracán (Fig. 6) y ese patrón lo discutiremos más adelante. El segundo es que valores negativos de crecimiento son comunes en la literatura y que en el caso de este estudio, el paso del huracán creó condiciones conducentes a estas tasas negativas.

En algunas ocasiones, los árboles se contraen en diámetro como resultado de sequía (Murphy y Lugo 1986), lo que también resulta en crecimientos negativos. Ese fenómeno también ocurre en bosques muy húmedos según demostró Murphy (1970) en su estudio de crecimiento de árboles en el sector El Verde del Bosque Experimental de Luquillo. En Caguana, los valores de cero o negativos ocurrieron en una fracción pequeña de los tallos del dosel (Fig. 1a), pero en el sotobosque este fenómeno ocurrió en una proporción alta de árboles, particularmente después del huracán (Fig. 1b). Tal reducción en las tasas de crecimiento no se puede atribuir a sequías como en los bosques secos, pero nuestras observaciones de campo ayudan a explicar el fenómeno (Lugo *et al.* 2005). Los árboles del sotobosque sufrieron efectos severos a causa del paso del huracán, incluso pérdida de copas, quebramientos de tallos y pérdida de corteza. La pérdida de corteza se debió a la fuerza del viento y a daños por la caída de ramas y tallos de los árboles del dosel. Obviamente, los árboles así afectados tendrán diámetros menores al momento de su medida después del huracán y eso se refleja en tasas de crecimiento negativas.

Los crecimientos negativos en altura (Fig. 5) son más fáciles de explicar ya que se deben principalmente al efecto del huracán. Lugo *et al.* (2005) observaron que los árboles más altos perdieron más altura que los árboles más bajitos como consecuencia del embate del viento. En el sotobosque los árboles perdieron altura tanto por el viento como por los efectos secundarios de la caída de ramas y tallos del dosel sobre ellos.

La variación en el crecimiento de árboles individuales antes del huracán, expresada por el coeficiente de variación (Tabla 2), osciló entre 72 y 242 por ciento para los datos de crecimiento en altura y área basal de árboles en el dosel y sotobosque. El coeficiente de variación fue más alto para árboles del dosel que para árboles del

sotobosque, en parte porque las tasas de crecimiento eran mayores en el dosel que en el sotobosque. Es decir, que cuando las tasas de crecimiento son altas, hay más posibilidades de que tasas individuales de crecimiento estén dispersas entre el crecimiento cero y la tasa más alta, lo que aumenta el coeficiente de variación. Los coeficientes de variación de crecimiento en área basal y altura para individuos aumentaron significativamente después del huracán y volvieron a bajar cuatro años después (Fig. 6).

El coeficiente de variación en el crecimiento también varió por especies, algunas con una variación baja antes del huracán (*Cecropia*) y otras con altos coeficientes de variación antes del huracán (*Miconia*; Tabla 2). Con pocas excepciones los coeficientes de variación por especie aumentaron después del huracán y se redujeron cuatro años más tarde. Cuando se combinaron los coeficientes de variación de las especies por períodos de tiempo, los cambios en los promedios no fueron significativos.

El efecto del huracán sobre la variación en el crecimiento se observa claramente en los datos de crecimiento en altura (Fig. 5). En el dosel (Fig. 5a), con la excepción de *Inga*, los errores estándar antes y cuatro años después del huracán fueron pequeños. Sin embargo, inmediatamente después del huracán todas las especies experimentaron más variación en su crecimiento en altura. Lo mismo ocurrió en el sotobosque (Fig. 5b), pero con un patrón de variación mayor al observado en el dosel.

Los coeficientes de variación de este estudio en general fueron altos en comparación con datos publicados para bosques maduros en Puerto Rico (Weaver 1979, 1983). Sin embargo, si consideramos solamente los coeficientes de variación para árboles del dosel antes del huracán (Tabla 2), los resultados son comparables con los de Weaver (1979, 1983). Weaver encontró especies con coeficientes de variación entre 160 y 186 por ciento en bosques maduros de palo colorado y tabonuco en la sierra de Luquillo. Tales valores sólo los observamos en *Miconia* en Caguana. De igual forma, el promedio para el coeficiente de variación entre las especies de Caguana antes del huracán fue de 110 por ciento, comparable al 114 y 138 que Weaver (1983) observó en el bosque de palo colorado en pendiente y el bosque de tabonuco en los topes,

**TABLA 2.** Coeficientes de Variación (CV) de los datos de crecimiento en área basal y altura para las especies con mayor número de medidas. Los espacios en blanco indican que no teníamos suficientes datos en el grupo diametral. El número de muestras para el promedio es el número de especies en la columna. Los datos 1998 - 1997 reflejan el efecto del huracán Georges.

	CV de Crecimiento en Área Basal				CV de Crecimiento en Altura							
	97-95 ≥ 4 cm < 4 cm	98-97 ≥ 4 cm < 4 cm	03-98 ≥ 4 cm < 4 cm	97-95 ≥ 4 cm < 4 cm	98-97 ≥ 4 cm < 4 cm	98-97 < 4 cm ≥ 4 cm	03-98 ≥ 4 cm < 4 cm					
<i>Ocotea leucoxydon</i>	101	210	220	107	67	181	44	131	-342	-581	160	3186
<i>Myrcia splendens</i>	112	46	90	140	67	177	51	59	-105	517	46	59
<i>Inga laurina</i>	44		324		209		320		320		87	
<i>Miconia prasina</i>	192	59	298	486	283	86	349	124	-373	-282	348	124
<i>Alchornea latifolia</i>	113	60	215	-2157	196	14	49	40	-163	-272	172	138
<i>Byrsonima coriacea</i>	151		105		100		74		-186		179	
<i>Casearia arborea</i>	149		260		75		59		6055		123	
<i>Cecropia peltata</i>	50		130		34		94		-56		147	
<i>Dichymopanax morototoni</i>	96		158		101		43		-112		143	
<i>Eugenia jambos</i>	90	56	372	328	86	113	74	55	161	462	107	267
<i>Coffea arabica</i>		107		210		689		65		-198		425
Promedio	110	90	217	-147	122	210	116	79	557	-59	151	700
SE	14	26	31	405	25	99	3	16	12	182	2	500
CV de especies	41	70	44	-673	65	116	101	49	349	-754	53	175
CV todos los individuos	171	72	333	348	153	157	242	78	-280	-701	159	247

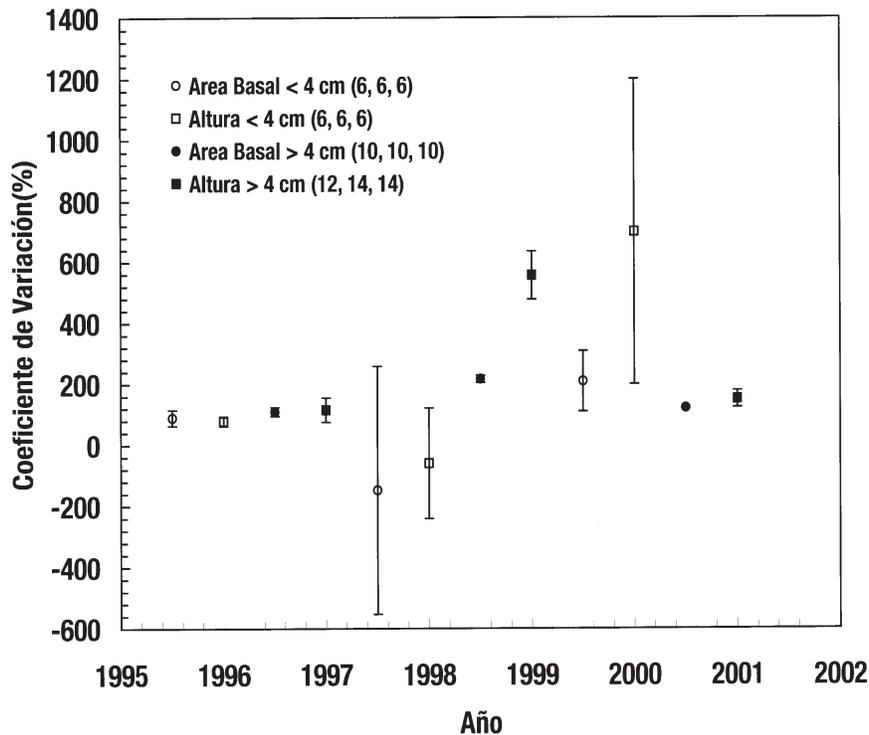


FIGURA 6. Cambios temporales en el Coeficiente de Variación del crecimiento para los árboles del dosel y del sotobosque del bosque en Caguana en Utuado, Puerto Rico. Las líneas verticales son el error estándar del promedio y los números entre paréntesis son el tamaño de la muestra en orden temporal.

respectivamente. Sin embargo, en otros tipos de bosque en Puerto Rico, Weaver (1979) observó promedios en el coeficiente de variación por debajo del 100 por ciento. Todos los bosques estudiados por Weaver son bosques maduros que contrastan con la temprana edad del bosque en Caguana. Proponemos que los árboles en los bosques secundarios jóvenes, tienen más amplitud de tasas de crecimiento debido a la dinámica sucesional en progreso (árboles jóvenes que invaden el lugar y árboles maduros en descenso). Tal diversidad en las tasas de crecimiento se reflejan en altos coeficientes de variación. Con el disturbio del huracán la variación aumenta aún más debido a los cambios en la luz (aumentó), el microclima (temperatura más alta) y el estado de los árboles (dosel impactado, nuevos rebrotes). Éstos

tres factores influyen en el rendimiento fotosintético de los árboles presentes después del huracán. A su vez, todos los cambios observados en las tasas de crecimiento se reflejan en los altos coeficientes de variación que observamos (Tabla 2).

### Crecimiento de las Especies

Las especies de más rápido crecimiento en área basal fueron *Cecropia* y *Didymopanax* en el dosel y *Eugenia jambos* en el sotobosque. *Eugenia jambos* y *Myrcia* fueron las de más lento crecimiento en el dosel mientras que la mayor parte de las especies del sotobosque crecieron lentamente. Algunas especies exhibieron la capacidad de aumentar su crecimiento en área basal cuando el dosel recibió el

impacto del huracán Georges y tal aumento ocurrió por un periodo de tiempo relativamente corto (Fig. 4). Generalmente, los incrementos en la velocidad de crecimiento de los árboles son de corta duración según ha reportado Murphy (1970), Silver *et al.* (2004) y Lugo y Rivera Batlle (1987). Esos pulsos de crecimiento están asociados a cambios en luz, acceso repentino al dosel o aumento en la disponibilidad de otros recursos como el agua, los nutrientes o el espacio para crecer. En nuestro caso, el estímulo para el crecimiento rápido estuvo asociado al paso del huracán y las oportunidades que le surgieron a los árboles que sobrevivieron los vientos huracanados.

Las especies presentes en Caguana para las cuales tenemos datos de crecimiento en otros bosques de la Isla (Tabla 3) en promedio crecieron más rápido en Caguana, pero la diferencia entre los promedios no fue significativa. Sin embargo, las especies de rápido crecimiento en Caguana (*Cecropia* y *Didymopanax*) exhibieron tasas de crecimiento muy superiores a las reportadas en el bosque de Luquillo.

### Efecto del Huracán Georges

Nuestros datos reflejan tres efectos del huracán Georges sobre las tasas de crecimiento de los árboles en el bosque en Caguana. El efecto más sobresaliente fue el aumento en la variabilidad del crecimiento (Fig. 6), el cual hemos discutido en la

sección sobre la variación en el crecimiento. Aquí resaltamos que el aumento en la variabilidad del crecimiento fue más marcado en los árboles del sotobosque y que el efecto perduró en el sotobosque hasta cuatro años después del evento. Es posible que esto se deba en parte al cambio estructural que sufrió el sotobosque con el paso del huracán (árboles doblados y mutilados por la caída de ramas y troncos del dosel y una alta recolonización de árboles en el grupo de diámetros iguales o menores a 4 cm (Lugo *et al.* 2005). El resultado de este efecto estructural es que retardó el pulso en crecimiento en área basal después del huracán relativo a la respuesta de los árboles del dosel (Fig. 4) y aumentó el número de árboles con tasas de crecimiento lento (Fig. 1). El coeficiente de variación (Fig. 6) refleja la alta variabilidad en tasas de crecimiento a consecuencia de los cambios estructurales en el sotobosque.

El segundo efecto del huracán Georges sobre el bosque en Caguana fue la diferenciación entre la respuesta de los árboles del sotobosque y los del dosel. Los árboles del dosel perdieron altura (Fig. 5a), pero su mortalidad fue baja (Lugo *et al.* 2005) por lo que mantuvieron su dominancia en el bosque. El pulso de crecimiento en área basal en respuesta al huracán fue rápido en el dosel, contrario a los árboles del sotobosque que tardaron cuatro años en responder con tasas de crecimiento más bajas a las previas al huracán. Los árboles del bosque sin excepción bajaron sus tasas de crecimiento en altura inmediatamente después del

**TABLA 3.** Comparación del crecimiento (cm<sup>2</sup>/año) de especies arbóreas bajo climas similares (húmedo vs. muy húmedo transición a húmedo) pero edades distintas (en paréntesis). Los datos de Condesa en el Bosque Experimental de Luquillo son de Silver *et al.* 2004 y los de Caguana son de este estudio.

Especie	Condesa (55 años)		Caguana (30 años)
	1937-1959	1959-1992	
<i>Alchornea latifolia</i>	11.6	18.9	6.9
<i>Byrsonima coriacea</i>	12.6	13.6	9.6
<i>Cecropia peltata</i> *	11.9	31.2	83.4
<i>Didimopanax morototoni</i>	8.4	7.3	36.1
<i>Inga laurina</i>	10.7	20.2	12.5
<i>Miliosma herbertii</i>	4.2	5	2.1
<i>Ocotea leucoxyllum</i>	6.8	12.3	8.5
Promedio**	9.5	15.5	22.7

\*En bosque muy húmedo maduro en El Verde, creció entre 6.7 y 7.7 cm<sup>2</sup>/año (Murphy 1970).

\*\*Diferencias no son significativas a  $p < .05$ .

huracán, pero la disminución fue más pronunciada en los árboles del sotobosque y contrarios a los del dosel, no retornaron a las tasas pre-huracán cuatro años más tarde (Fig. 3).

Cuando estos datos se expresan por especie (Fig. 5), se nota que el crecimiento en altura no reflejó el pulso que se midió en el crecimiento en área basal (Fig. 4a). Luego de la disminución en la tasa de crecimiento y el aumento en variación con el paso del huracán, las tasas de crecimiento en altura retornaron a la normalidad con tasas similares a las pre-huracán.

El tercer efecto del huracán consistió en el contraste de las respuestas de las tasas de crecimiento por altura y área basal. Las tasas de crecimiento por altura se redujeron después del huracán, mientras que las de área basal aumentaron en el dosel y se mantuvieron iguales en el sotobosque (Figs. 3-5). Parte de la explicación está en el efecto directo del viento sobre la altura. Los vientos huracanados reducen la altura de los árboles, particularmente los árboles más expuestos a los vientos. Además, la caída anormal de ramas y tallos reducen la altura de los árboles bajo el dosel. Estas reducciones resultan en pérdida de altura y aumento en la variabilidad de los datos de crecimiento en altura. El crecimiento en área basal no se afecta inmediatamente pues los árboles crecen en respuesta a condiciones favorables después del huracán y obtienen nutrición de almacenajes en raíces y de la actividad fotosintética de hojas y ramas nuevas.

### Comparación con Otros Bosques

El crecimiento en área basal de los árboles en Caguana fue mucho más rápido que el crecimiento de los árboles en los bosques nativos maduros de Puerto Rico (Tabla 4). Esto es cierto aunque el crecimiento se expresa por árboles o acumulación de área basal en el rodal. El crecimiento en Caguana superó también el crecimiento de los árboles en bosques secundarios según reflejado en la Tabla 4 y fue similar al crecimiento medido en árboles en plantaciones de especies de rápido crecimiento. El crecimiento rápido en el área basal del rodal en Caguana inmediatamente después del paso del huracán (2.5 m<sup>2</sup>/ha.año) refleja la alta resiliencia del bosque ante este evento (Lugo *et al.* 2005).

Las tasas de crecimiento en altura son más difíciles de comparar porque los árboles están siempre expuestos a eventos que reducen su altura a medida que maduran, especialmente en las latitudes de Puerto Rico donde las tormentas de viento son frecuentes. Sin embargo, las tasas pre-huracán en el dosel (Fig. 5a) reflejan una amplitud de crecimiento hasta sobre 1 m/año, lo cual es comparable con tasas rápidas en plantaciones forestales luego de establecidas (Lugo y Figueroa 1985).

En resumen, los árboles del bosque secundario en Caguana exhiben altas tasas de crecimiento, particularmente después del paso del huracán Georges. Sin embargo, debido a su etapa sucesional y alta densidad de tallos, las tasas de crecimiento en este bosque son variables, tanto en altura como en área basal. El efecto principal del huracán fue la reducción inicial en la altura de los árboles y el estímulo posterior del crecimiento en área basal y altura a la vez que aumentó la variación en las tasas de crecimiento.

### AGRADECIMIENTOS

Este estudio es parte de un acuerdo entre el Servicio Forestal de los Estados Unidos de América y la Escuela Superior Vocacional Luis Muñoz Rivera de Utuado y se llevó a cabo en colaboración con la Universidad de Puerto Rico. El estudio fue financiado en parte por el programa *Schoolyard Program* de la Fundación Nacional para las Ciencias de los Estados Unidos de América y es parte de la aportación del Servicio Forestal al Programa de Estudios Ecológicos a Largo Plazo de la Fundación (Grant No. BSR-8811902 a la Universidad de Puerto Rico y al Instituto Internacional de Dasonomía Tropical). Los siguientes estudiantes coleccionaron los datos de campo: Gisela Báez Sánchez, José Costa Malaret, Shajira De Jesús Santos, Patricia Delgado Cordero, Jesús Figueroa González, Edgardo González, Daniel González Rivera, Ildaliz Loucil Rivera, Merylyn Maldonado Afanador, José Matos Cuevas, Katherine Quiñones González, Mabel Ramírez Vélez, Myrnaly Rodríguez Correa, Valerie Rodríguez Cortés, Edison Rosario, Marisol Santiago, Jessenia Soto Pérez, Luis Soto Toledo, y Jorge Vera. Agradecemos la revisión del manuscrito de parte de Frank Wadsworth, Julie Hernández y Mildred Alayón.

**TABLA 4.** Comparación de tasas de crecimiento en área basal de diversos tipos de bosque en Puerto Rico. El Bosque Experimental de Luquillo es LEF por sus siglas en inglés. Los tipos de bosque con datos repetitivos representan distintos lugares o fechas. Espacios en blanco indican falta de datos.

Lugar	m <sup>2</sup> /ha.yr	cm <sup>2</sup> /yr	Referencia
Bosques Nativos Maduros			
Tabonuco, LEF	0.63		Weaver 1983
Tabonuco, LEF	0.06		Weaver 1983
Tabonuco, LEF	0.25		Weaver 1983
Tabonuco en Sabana 8, LEF	0.19		Crow y Weaver 1977
Tabonuco en Río Grande, LEF	0.23		Crow y Weaver 1977
Tabonuco en Sabana 4, LEF	0.23		Crow y Weaver 1977
Tabonuco, LEF (1945 - 1950)	0.56		Brown <i>et al.</i> 1983
Tabonuco, LEF (1945 - 1950)	0.26		Brown <i>et al.</i> 1983
Tabonuco, LEF (1946 - 1976)	0.07		Brown <i>et al.</i> 1983
Tabonuco, LEF (1946 - 1976)	0.25		Brown <i>et al.</i> 1983
Tabonuco, LEF (1947 - 1952)	1.40		Brown <i>et al.</i> 1983
Tabonuco, LEF (1947 - 1952)	1.60		Brown <i>et al.</i> 1983
Tabonuco, LEF (1947 - 1975)	0.63		Brown <i>et al.</i> 1983
Tabonuco, LEF (1946 - 1956)	0.66		Briscoe y Wadsworth 1970
Tabonuco, LEF (1956 - 1966)	0.35		Briscoe y Wadsworth 1970
Tabonuco, LEF (1946 - 1956)	0.36		Briscoe y Wadsworth 1970
Tabonuco, LEF (1956 - 1966)	0.22		Briscoe y Wadsworth 1970
Tabonuco en El Verde, LEF		5.3-20.2	Murphy 1970
Palo colorado, LEF	0.04		Weaver 1983
Palo colorado, LEF	0.23		Weaver 1983
Palo colorado, LEF	0.43		Weaver 1983
Palo colorado, LEF	0.08		Weaver 1983
Palo colorado, LEF	0.39		Weaver 1983
Palo colorado, LEF (1945 - 1950)	0.04		Brown <i>et al.</i> 1983
Palo colorado, LEF (1945 - 1950)	0.00		Brown <i>et al.</i> 1983
Palo colorado, LEF (1945 - 1950)	-0.36		Brown <i>et al.</i> 1983
Palo colorado, LEF (1945 - 1950)	-0.14		Brown <i>et al.</i> 1983
Palo colorado, LEF (1945 - 1950)	-0.32		Brown <i>et al.</i> 1983
Palo colorado, LEF (1945 - 1950)	0.14		Brown <i>et al.</i> 1983
Palo colorado, LEF (1945 - 1950)	-0.22		Brown <i>et al.</i> 1983
Palo colorado, LEF (1945 - 1950)	0.18		Brown <i>et al.</i> 1983
Palo colorado, LEF (1946 - 1976)	0.23		Brown <i>et al.</i> 1983
Palo colorado, LEF (1946 - 1976)	0.05		Brown <i>et al.</i> 1983
Palo colorado, LEF (1946 - 1976)	0.07		Brown <i>et al.</i> 1983
Palo colorado, LEF (1947 - 1952)	-0.20		Brown <i>et al.</i> 1983
Palo colorado, LEF (1947 - 1952)	0.20		Brown <i>et al.</i> 1983
Palo colorado, LEF (1947 - 1975)	0.43		Brown <i>et al.</i> 1983
Palo colorado, Maricao	0.17		Weaver 1983
Palo colorado, Toro Negro	0.09		Weaver 1983
Palo colorado, Carite	0.63		Weaver 1983
Bosque volcánico, Guilarte	0.83		Weaver 1983
Bosque kárstico, Cambalache	0.06		Weaver 1983
Bosque kárstico, Cambalache	0.29		Weaver 1983
Palmar, LEF	0.04		Weaver 1983
Palmar, LEF (1946 - 1975)	0.00		Brown <i>et al.</i> 1983

**TABLA 4.** Comparación de tasas de crecimiento en área basal de diversos tipos de bosque en Puerto Rico. El Bosque Experimental de Luquillo es LEF por sus siglas en inglés. Los tipos de bosque con datos repetitivos representan distintos lugares o fechas. Espacios en blanco indican falta de datos. (Continuación).

Lugar	m <sup>2</sup> /ha.yr	cm <sup>2</sup> /yr	Referencia
Palmar, LEF	0.35		Frangi y Lugo 1998
Palmar, LEF	0.20		Frangi y Lugo 1998
Manglar, Piñones	0.69		Weaver 1983
Manglar, Jobos	0.21 to 0.22		Ruiz Bernard y Lugo 1999
Manglar, Jobos	0.15		Weaver 1983
Plantaciones			
Caoba hoja ancha, LEF		10 a 14	Ward y Lugo 2003
Caoba hoja pequeña, LEF		5 a 8	Ward y Lugo 2003
Caoba costa Pacífica, LEF		5 a 6	Ward y Lugo 2003
Caoba hoja ancha, Sabana, LEF	1.47		Lugo 1992
Caoba híbrida, LEF	1.40		Weaver y Bauer 1983, 1986
Caoba híbrida, LEF (49 años)	1.36		Lugo 1992
Pino hondureño, LEF (4 años)	3.84		Lugo 1992
Pino hondureño, LEF (17 años)	0.52		Lugo 1992
Cinco plantaciones en Lajas		0.3 a 44.3	Lugo <i>et al.</i> 1990
<i>Eucalyptus deglupta</i> y <i>E. urophylla</i>		0.5 a 12.6	Lugo y Francis 1990
<i>Anthocephalus chinensis</i>	1.82	25 a 170	Lugo y Figueroa 1985
Bosques Secundarios			
Guzmán, LEF	0.8		Lugo 1992
Cubuy, LEF	1.06		Lugo 1992
Sabana, LEF	0.59		Lugo 1992
El Verde, LEF	1.1		Lugo 1992
La Condesa, LEF 1937 - 1959		3.6 a 29.9	Silver <i>et al.</i> 2004
La Condesa, LEF 1959 - 1992		4.9 a 40.4	Silver <i>et al.</i> 2004
Cafetales activos y abandonados*	0.31		Lugo y Helmer 2004
Bosques secundarios*	0.23		Lugo y Helmer 2004
Caguana, Utuado	1.2 a 2.5	4.3 a 83.4**	Este estudio

\*1980 - 1990; datos para toda la Isla.

\*\*Promedio: 18.3 cm<sup>2</sup>/año.

#### LITERATURA CITADA

- Institute of Tropical Forestry Research Paper ITF-22, Río Piedras, PR.
- Briscoe, C.B. y F.H. Wadsworth. 1970. Stand structure and yield in the tabonuco forest of Puerto Rico. Páginas B79-B89 en H.T. Odum y R.F. Pigeon, editores. A tropical rain forest: a study of irradiation and ecology at El Verde, Puerto Rico. National Technical Information Service, Springfield, VA.
- Brown, S., A.E. Lugo, S. Silander y L. Liegel. 1983. Research history and opportunities in the Luquillo Experimental Forest. USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station, General Technical Report SO-44, New Orleans, LA.
- Crow, T.R. y P.L. Weaver. 1977. Tree growth in a moist tropical forest of Puerto Rico. USDA Forest Service
- Dawkins, H.C. 1956. Crown classification of natural forest trees. Uganda Forest Department, Technical Note No. 17.
- Frangi, J.L. y A.E. Lugo. 1998. A flood plain palm forest in the Luquillo Mountains of Puerto Rico five years after Hurricane Hugo. *Biotropica* 30:339-348.
- Lugo, A.E. 1992. Comparison of tropical tree plantations with secondary forests of similar age. *Ecological Monographs* 62:1-41.
- Lugo, A.E., C. Domínguez Cristóbal y N. Méndez Irizarry. 2005. Efectos del huracán Georges en la composición

- de especies y estructura de un bosque secundario en el interior de Puerto Rico. *Acta Científica* 19:41-61.
- Lugo, A.E. y C.T. Rivera Batlle. 1987. Leaf production, growth rate, and age of the palm *Prestoea montana* in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Journal of Tropical Ecology* 3:151-161.
- Lugo, A.E., D. Wang, y F.H. Bormann. 1990. A comparative analysis of biomass production in five tropical tree species. *Forest Ecology and Management* 31:153-166.
- Lugo, A.E. y E. Helmer. 2004. Emerging forests on abandoned land: Puerto Rico's new forests. *Forest Ecology and Management* 190:145-161.
- Lugo, A.E. y J. Figueroa. 1985. Performance of *Anthocephalus chinensis* in Puerto Rico. *Canadian Journal of Forest Research* 15:577-585.
- Lugo, A.E. y J.K. Francis. 1990. A comparison of 10 provenances of *Eucalyptus deglupta* and *E. urophylla* in Puerto Rico: growth and survival over 15 years. *Commonwealth Forestry Review* 69:157-171.
- Molina, S. y S. Alemañy. 1997. Species codes for the trees of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. USDA Forest Service, Southern Research Station General Technical Report SO 122, Asheville, NC. 67 p.
- Murphy, P.G. 1970. Tree growth at El Verde and the effects of ionizing radiation. Páginas D141-D171 en H.T. Odum y R.F. Pigeon, editores. *A tropical rain forest: a study of irradiation and ecology at El Verde, Puerto Rico*. National Technical Information Service, Springfield, VA.
- Murphy, P.G. y A.E. Lugo. 1986. Ecology of tropical dry forest. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17:67-88.
- Popper, N., C. Domínguez Cristóbal, A. Santos, N. Méndez Irizarry, E. Torres Morales, A.E. Lugo, Z.Z. Rivera Lugo, B. Soto Toledo, M. Santiago Irizarry, I.L. Rivera, L.A. Zayas y C. Colón. 1999. A comparison of two secondary forests in the coffee zone of central Puerto Rico. *Acta Científica* 13:27-41.
- Ruiz Bernard, I. y A.E. Lugo. 1999. Stand dynamics of a south coast mangrove forest in Puerto Rico. *Acta Científica* 13:107-119.
- Silver, W.L., L.M. Kueppers, A.E. Lugo, R. Ostertag, y V. Matzek. 2004. Carbon sequestration and plant community dynamics following reforestation of tropical pasture. *Ecological Applications* 14:1115-1127.
- Wadsworth, F.H. 1947. Growth in the lower montane rain forest of Puerto Rico. *Caribbean Forester* 8:27-43.
- Wadsworth, F. H. 2000. Producción forestal para América tropical. USDA Forest Service Manual de Agricultura 710-S, Washington, DC.
- Ward, S.E. y A.E. Lugo. 2003. Twenty mahogany provenances under different conditions in Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. Páginas 29-93 en A.E. Lugo, J.C. Figueroa-Colón y M. Alayón, editores. *Big-leaf mahogany: genetics, ecology, and management*. Springer, New York, NY.
- Weaver, P.L. 1979. Tree growth in several tropical forests of Puerto Rico. USDA Forest Service Research Paper SO-152. Southern Forest Experiment Station, New Orleans, LA.
- Weaver, P.L. 1983. Tree growth and stand changes in the subtropical life zones of the Luquillo Mountains of Puerto Rico. USDA Forest Service Southern Forest Experiment Station Research Paper SO-190, New Orleans, LA.
- Weaver, P.L. y G.P. Bauer. 1983. Crecimiento de caoba sembrada en líneas en la Sierra de Luquillo de Puerto Rico. Páginas 31-39 en *Décimo simposio de recursos naturales*. Departamento de Recursos Naturales, San Juan, PR.
- Weaver, P.L. y G.P. Bauer. 1986. Growth, survival and shoot borer damage in mahogany plantings in the Luquillo Forest, Puerto Rico. *Turrialba* 36:509-522.

## EFFECTOS DEL HURACÁN GEORGES EN LA COMPOSICIÓN DE ESPECIES Y ESTRUCTURA DE UN BOSQUE SECUNDARIO EN EL INTERIOR DE PUERTO RICO

Ariel E. Lugo<sup>1</sup>, Carlos M. Domínguez Cristóbal<sup>1</sup> y Noemí Méndez Irizarry<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Internacional de Dasonomía Tropical  
Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América  
1201 Calle Ceiba, Jardín Botánico Sur, Río Piedras, PR 00926-1119

<sup>2</sup>Distrito Escolar de Utuado  
Escuela Superior Vocacional Luis Muñoz Rivera  
Utuado, Puerto Rico

### ABSTRACT

From 1995 to 2003 we studied species composition and structure in a secondary subtropical wet forest in Utuado Puerto Rico. During September 21-22, 1998, hurricane Georges passed through the stand with maximum sustained winds of 184 km/h and gusts of 240 km/h. Species richness increased after the hurricane. While native species *Miconia prasina* reduced its Importance Value, the naturalized species *Eugenia jambos* (synonymous with *Syzygium jambos*) increased in Importance Value because of the hurricane. Effects to the forest structure brought about by the hurricane were more noticeable in the reduction in height of the stand and taller trees. A number of trees were bent over in the understory but the majority survived. Mortality from the passage of the hurricane was twice of that before the hurricane, but regeneration of new individuals was five times higher than losses due to mortality. Because of the high Importance Values of two introduced and naturalized species (*Eugenia jambos* and *Coffea arabica*) we conclude that the forest is a new forest in Puerto Rico, in spite of the fact that the majority of the regeneration and entry of new species are native species. This forest reflected high resistance and rapid structural resilience with the passage of the hurricane and exhibited rates of change comparable or superior to other forests in the Island.

### ABSTRACTO

Estudiamos la composición de especies y la estructura de un bosque secundario subtropical muy húmedo en Utuado Puerto Rico entre el 1995 y 2003. Entre el 21 y 22 de septiembre del 1998 pasó sobre el rodal el huracán Georges con vientos máximos sostenidos de 184 km/h y ráfagas de 240 km/h. La riqueza de especies aumentó después del paso del huracán. Mientras que la especie nativa *Miconia prasina* redujo su Valor de Importancia, la especie naturalizada *Eugenia jambos* (sinónimo con *Syzygium jambos*) aumentó en Valor de Importancia a causa del huracán. Los efectos causados por el huracán a la estructura del bosque fueron más notables en la reducción de la altura del rodal y de los árboles más altos. En el sotobosque un alto número de árboles se doblaron, pero la mayoría permanecieron vivos. La mortalidad a causa del paso del huracán fue el doble de la mortalidad antes del huracán, pero la regeneración de nuevos individuos fue cinco veces más alta que las pérdidas por mortalidad. Debido a los altos Valores de Importancia de dos especies introducidas y naturalizadas (*Eugenia jambos* y *Coffea arabica*) concluimos que el bosque es un bosque nuevo en Puerto Rico, a pesar de que la mayor parte de la regeneración y entrada de nuevas especies son especies nativas. Este bosque reflejó una alta resistencia y rápida resiliencia estructural al paso del huracán y exhibió tasas de cambio comparables o superiores a la de otros bosques en la Isla.

## INTRODUCCIÓN

Los bosques de Puerto Rico son mayormente bosques secundarios que han surgido luego del abandono de los campos agrícolas. Muchos de éstos se consideran “nuevos bosques” debido a que sus noveles combinaciones de especies no han ocurrido antes en Puerto Rico (Lugo y Helmer 2004). El estudio de estos bosques es necesario para apoyar potenciales estrategias de conservación tanto en ellos como en los bosques secundarios en general. La mayoría de los estudios ecológicos en Puerto Rico y en otros países tropicales han enfatizado bosques nativos en etapas maduras de sucesión o estados primarios, dejando un vacío de información sobre los bosques secundarios (Brown y Lugo 1990). Más aún, los bosques nuevos se consideran poco importantes desde el punto de vista de la conservación debido a que sus especies son comunes o introducidas.

Sin embargo, este argumento ignora el hecho de que para que un bosque llegue a sus etapas maduras es necesario pasar por las etapas tempranas de la sucesión. Además, los nuevos bosques secundarios dan paso a bosques maduros con combinaciones de especies nativas, endémicas e introducidas (Lugo 2004, Lugo y Brandeis 2005). Por lo tanto, es necesario estudiar los bosques a largo plazo y documentar los cambios que sufren a medida que se transforman de bosques jóvenes a bosques maduros.

Este estudio está enfocado en un rodal de bosque secundario en el sector Jácanas del barrio Caguana de Utuado donde hemos estado observando los cambios en la composición de especies, la estructura y el funcionamiento desde el 1995. Popper *et al.* (1999) contiene una descripción del rodal y su clima, sus características ecológicas y trasfondo histórico relativo a los usos de terreno en la región cafetalera de Utuado. Al momento de su estudio, Popper *et al.* (1999) clasificaron el lugar de estudio como subtropical húmedo basado en una lluvia anual de 1,435mm. Esa lluvia correspondía a una estación a 158m de elevación mientras que el lugar de estudio está a 416m de elevación. Datos de la NOAA para la región de Utuado reflejan una lluvia anual de 2,331mm, lo cual ubica el sitio en la zona de vida subtropical muy húmeda transición

a húmeda de acuerdo a E. Helmer, *comunicación personal*.

Después del estudio de Popper *et al.* (1999), pasó el huracán Georges sobre el área de estudio, impactando el bosque secundario y ofreciendo la oportunidad para estudiar sus efectos. El objetivo de este trabajo consiste en estudiar el efecto del huracán Georges sobre la composición de especies y estructura del bosque secundario en Caguana. Los aspectos de crecimiento de árboles (Lugo *et al.* 2005) y caída de hojarasca se reportarán en otros trabajos. Específicamente planteamos tres preguntas:

1. ¿Es el bosque secundario en Caguana un bosque nuevo *sensu* Lugo y Helmer (2004)?
2. ¿Cuán resistente fue y cuánta resiliencia tuvo la estructura del bosque ante el embate del huracán Georges?
3. ¿Cómo compara la respuesta del bosque en Caguana al huracán con la de otros bosques en Puerto Rico?

Para contestar estas preguntas utilizamos observaciones y medidas de los cambios en especies y su Valor de Importancia, cambios en la densidad de tallos, el área basal y altura del rodal además de las tasas de mortalidad y de reclutamiento de tallos entre el 1995 y 2003. El estudio incluye plántulas y brinzales, árboles en el sotobosque y árboles en el dosel del bosque.

## MÉTODOS

Los métodos son los mismos reportados por Popper *et al.* (1999). Todos los árboles con diámetro  $\geq 4$  cm a la altura del pecho (1.3m, dap) y los árboles con dap entre 2 y 3.99cm en el rodal de 1030m<sup>2</sup> se identificaron por especie, se les asignó un número y se les midió el dap y la altura. El dap se midió con una cinta calibrada para indicar el diámetro a base de la circunferencia del árbol. La altura se midió con una vara calibrada en metros. A las plántulas y brinzales con dap < 2 cm, se les midió la altura, diámetro a la base del tallo y se contaron por especies en 84 cuadrantes de 0.25 m<sup>2</sup> seleccionados al azar dentro del rodal principal. El área total de muestreo para plántulas y brinzales

fue de 21 m<sup>2</sup>. Para los propósitos de este estudio, nos referimos a los árboles con dap  $\geq$  4 cm como árboles del dosel y a los árboles con dap entre 2 y 3.99 cm como árboles del sotobosque.

Las medidas de árboles, plántulas y brinzales se llevaron a cabo durante varias fechas debido a la logística necesaria para transportar estudiantes al sitio de estudio. Para resumir, se llevaron a cabo inventarios completos de los árboles, plántulas y brinzales en las cinco ocasiones al final de ésta página, las primeras dos antes del huracán Georges y las últimas tres después del huracán:

Durante la medición de los árboles se anotaron los árboles que murieron desde la última medición y los árboles reclutados a la clase diamétrica superior a los 4cm dap. El mismo procedimiento se llevó a cabo para árboles con dap entre 2.0 y 3.99 cm, pero con éstos se anotaron aquellos árboles cuyos tallos fueron partidos o doblados por el huracán Georges.

Por medio de las mediciones repetitivas se estimaron una serie de parámetros ecológicos. Del diámetro se obtuvo el área basal, reportado por árbol y especie, para todos los árboles en el rodal y por especie. Los datos de altura también se reportan por árbol y especie. La densidad de tallos (plántulas y brinzales, árboles con dap entre 2.00 y 3.99 cm y árboles con dap  $\geq$  4.0 cm) se estimó dividiendo el número de tallos por el área del rodal o del cuadrante. Estos cálculos también se hicieron por especie.

Para cada especie se calculó su Valor de Importancia como la suma de su área basal relativa y densidad relativa dividido entre dos y expresado en por ciento. El área basal relativa y la densidad relativa se estimaron como la fracción del área

basal del rodal y densidad de tallos en el rodal (respectivamente) atribuible a cada especie. La mortalidad de árboles se estimó dividiendo el número de árboles muertos durante un intervalo de medición entre el área del rodal y el tiempo correspondiente. La tasa de reclutamiento a la clase diamétrica  $\geq$  4.0 cm se estimó como el número de árboles que entraron a esa clase diamétrica dividido entre el área del rodal y el intervalo de tiempo entre las medidas. La nomenclatura de especies siguió a Molina y Alemañ (1997). Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando Excel 11.2 para Macintosh.

## RESULTADOS

### Composición de Especies

La riqueza de especies aumentó del dosel (árboles  $\geq$  4cm dap), al sotobosque (árboles entre 2 y 3.99cm dap) y las plántulas y brinzales (Tabla 1). Aunque poco, la riqueza de especies aumentó en los tres estratos después del huracán. La densidad de especies de plántulas y brinzales osciló ampliamente durante el 1999 alrededor del promedio de 5.8 especies/0.25 m<sup>2</sup> (Fig. 1, Tabla 1). La relación especie/área en el estrato de plántulas y brinzales se estabilizó en 25 especies/0.25 m<sup>2</sup> con un muestreo de sólo 6 m<sup>2</sup> (Fig. 2). El orden de las especies en término de su Valor de Importancia, o densidad en el caso de las plántulas y brinzales, varió de acuerdo al estrato y momento del muestreo (Fig. 3 a y b, Tabla 2).

Al momento del primer muestreo, las especies del dosel con los Valores de Importancia más altos fueron *Miconia prasina* y *Didymopanax morototoni* (sinónimo con *Schefflera morototoni*). En ese

Fecha	Árboles $\geq$ 4 cm	Árboles $\geq$ 2 y $\leq$ 3.99 cm	Plántulas y Brinzales
Septiembre 1995 a febrero 1996	X	X	
Octubre 1997 a marzo 1998	X	X	
Diciembre 1998 a enero 1999	X	X	
Abril 2003	X	X	
Marzo 1999 a noviembre 1999			X

**TABLA 1.** Parámetros estructurales asociados a árboles, plántulas y brinzales en el bosque secundario en Caguana en Utuado, Puerto Rico. El área del rodal es de 0.1030 ha y el área total muestreada para plántulas y brinzales fue de 21m<sup>2</sup>. El error estándar del promedio y el número de muestras están en paréntesis. El huracán Georges había pasado sobre el rodal para la medición del 1998-1999.

Parámetro	1995-1996	1997-1998	1998-1999	2003
Árboles ≥ 4cm				
Número de especies	15	15	16	20
Densidad (tallos/ha)	1900	1359	1728	2126
Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	19.8	21.2*	19.4	23.4
Dap promedio por rodal (cm)	8.9 (0.8; 92)	9.7 (0.6; 145)	9.3 (0.6; 178)	9.2 (0.5; 220)
Dap promedio por especies (cm)	12.6 (2.3; 15)	11.9 (1.8; 15)	11.6 (2.0; 16)	11.3 (1.7; 20)
Área basal promedio para árboles por rodal (cm <sup>2</sup> )	104 (21.1; 95)	119 (17.5; 145)	112 (15.6; 178)	110 (14.5; 220)
Área basal promedio para árboles por especies (cm <sup>2</sup> )	208 (65.2; 15)	185 (47.3; 15)	185 (51.6; 16)	169 (44.8; 20)
Altura promedio por rodal (m)	8.6 (0.5; 92)	9.6 (0.4; 139)	8.1 (0.2; 178)	8.6 (0.2; 217)
Altura promedio por especies (m)	10.7 (1.1; 15)	13.5 (2.7; 15)	8.4 (0.6; 16)	9.1 (0.6; 20)
Árboles 2.00 - 3.99cm				
Número de especies	18	22	22	23
Densidad (tallos/ha)	1740	2738	2165	3369
Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	0.96	1.79	1.39	2.06
Dap promedio por rodal (cm)	2.6 (0.0; 174)	2.8 (0.0; 284)	2.9 (0.0; 225)	2.7 (0.00; 360)
Dap promedio por especies (cm)	2.7 (0.1; 18)	2.8 (0.1; 22)	2.9 (0.1; 22)	2.7 (0.1; 23)
Área basal promedio para árboles por rodal (cm <sup>2</sup> )	5.5 (0.2; 174)	6.5 (0.1; 174)	6.9 (0.2; 225)	6.1 (0.1; 360)
Área basal promedio para árboles por especies (cm <sup>2</sup> )	5.9 (0.5; 18)	6.4 (0.3; 22)	7.0 (0.6; 22)	6.0 (0.3; 23)
Altura promedio por rodal (m)	4.4 (0.1; 173)	5.1 (0.1; 283)	4.7 (0.1; 224)	4.6 (0.1; 351)
Altura promedio (m) por especies	4.7 (0.3; 18)	5.3 (0.2; 22)	4.6 (0.2; 22)	4.6 (0.1; 23)
Plántulas y Brinzales**				
Número de especies			25	
Densidad (plantas por ha)			773,800	
Diámetro promedio (m)			0.43 (0.02)	
Altura promedio (m)			0.47 (0.02)	
Número de especies promedio***			5.8 (0.3)	

\*Este valor corresponde al área basal de los árboles medidos en el 1995. El área basal de todos los árboles del rodal fue de 16.7 m<sup>2</sup>/ha.

\*\*Los datos son para el 1999; con la excepción de la densidad, son por cuadrante (n = 84).

\*\*\*Área = 0.25m<sup>2</sup>.

FIGURA 1. Densidad de especies de plántulas en el bosque secundario en Caguana en Utuado, Puerto Rico. Cada punto representa un cuadrante y la línea es el promedio corrido de cinco valores.

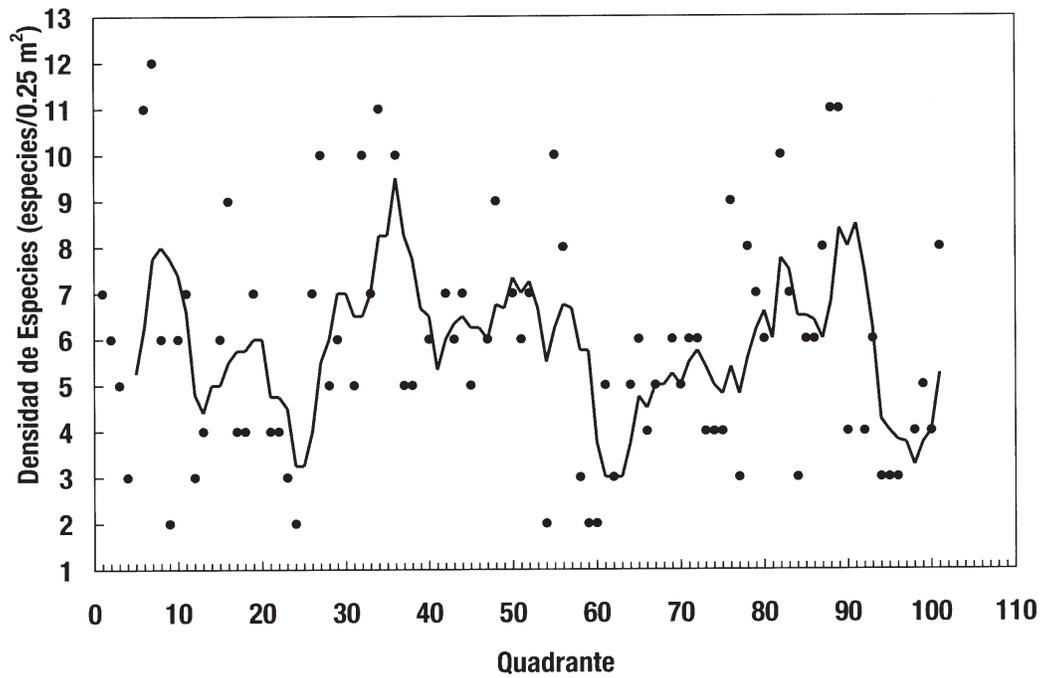
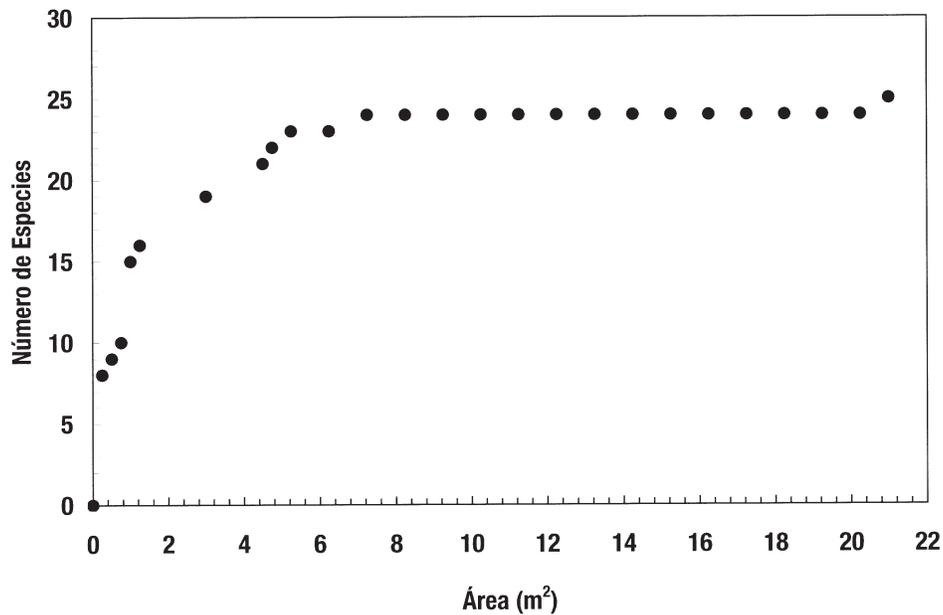


FIGURA 2. Relación especie/área en el estrato de plántulas y brinzales en el bosque secundario en Caguana en Utuado, Puerto Rico.



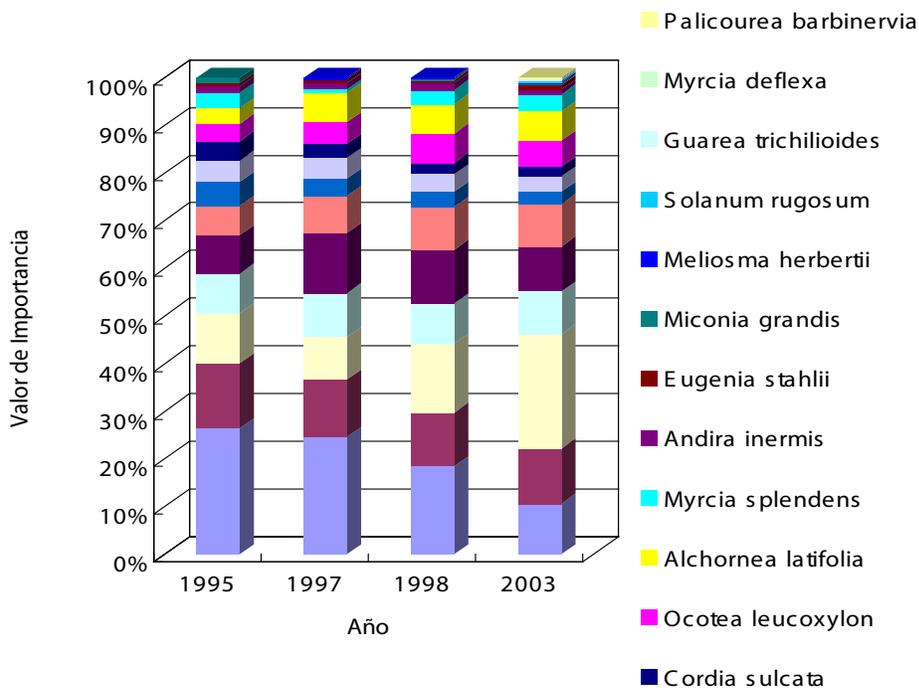
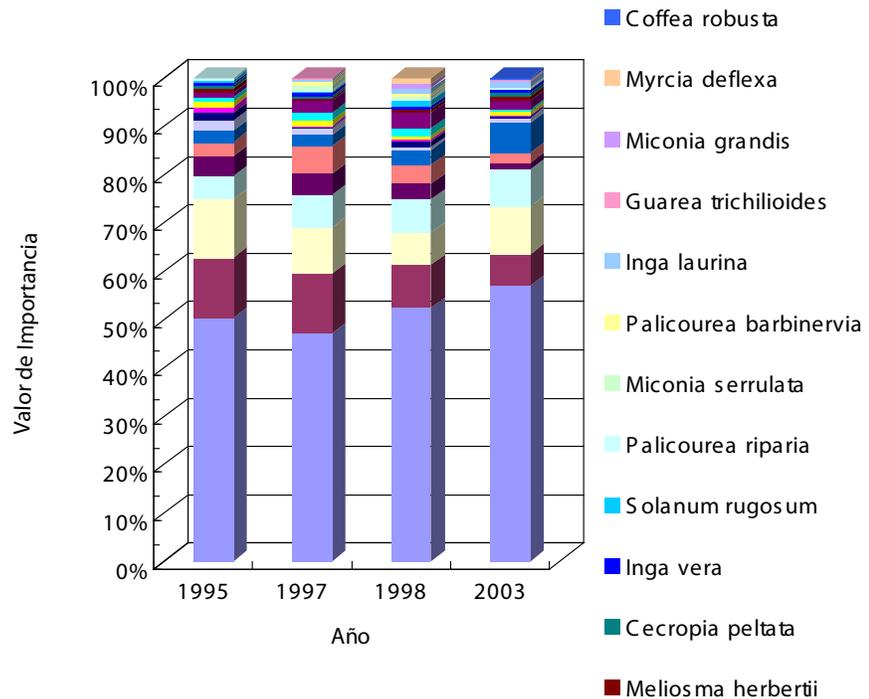


FIGURA 3. Valor de Importancia de las especies arbóreas del dosel (a) y sotobosque (b) a través del tiempo en el bosque secundario en Caguana en Utuado, Puerto Rico. Las columnas del 1998 y 2003 contienen datos después del paso del huracán Georges. Ver el texto para la sinonimia de varias especies.

B.



**TABLA 2.** La densidad de plántulas y brinzales (individuos/m<sup>2</sup>) en el bosque secundario en Caguana en Utuado, Puerto Rico. Los datos son para el 1999 después del paso del huracán. Ver el texto para la sinonimia de varias especies.

Especie	Densidad
<i>Coffea arabica</i> <sup>a,c</sup>	21.43
<i>Eugenia jambos</i> <sup>a,c</sup>	12.19
<i>Palicourea riparia</i> <sup>b</sup>	10.43
<i>Inga laurina</i> <sup>b</sup>	9.48
<i>Miconia prasina</i> <sup>b</sup>	5.38
<i>Alchornea latifolia</i> <sup>b</sup>	2.10
<i>Guarea trichilioides</i> <sup>b</sup>	1.95
<i>Piper aduncum</i> <sup>b</sup>	1.95
<i>Myrcia splendens</i> <sup>b</sup>	1.90
<i>Cupania americana</i> <sup>b</sup>	1.81
<i>Calophyllum calaba</i> <sup>b</sup>	1.57
<i>Ocotea leucoxylon</i> <sup>b</sup>	1.43
<i>Byrsonima coriacea</i> <sup>b</sup>	1.14
<i>Andira inermis</i> <sup>b</sup>	1.00
<i>Eugenia stahlitii</i> <sup>b,d</sup>	0.95
<i>Inga vera</i> <sup>b</sup>	0.90
<i>Didymopanax morototoni</i> <sup>b</sup>	0.48
<i>Clusea rosea</i> <sup>b</sup>	0.38
<i>Cecropia peltata</i> <sup>b</sup>	0.24
<i>Solanum rugosum</i> <sup>b</sup>	0.24
<i>Casearia arborea</i> <sup>b</sup>	0.19
<i>Pouteria multiflora</i> <sup>b</sup>	0.10
<i>Casearia guianensis</i> <sup>b</sup>	0.05
<i>Prestoea montana</i> <sup>b</sup>	0.05
<i>Dendropanax arboreum</i> <sup>b</sup>	0.05
Densidad Total	77.38

a = naturalizada; b = nativa; c = introducida; d = endémica

mismo momento *Eugenia jambos* (sinónimo con *Syzygium jambos*) tenía el Valor de Importancia más alto en el sotobosque. Antes del huracán, las especies dominantes en el dosel y sotobosque exhibían un patrón de descenso en sus Valores de Importancia. Sin embargo, *Casearia arborea*, *Inga laurina*, *Cecropia peltata* (sinónimo con *Cecropia schreberiana*) y *Ocotea leucoxylon* en

el dosel y *Ocotea leucoxylon* y *Myrcia splendens* en el sotobosque exhibieron aumentos en su Valor de Importancia antes del paso del huracán Georges. Después del huracán, *Eugenia jambos* aumentó en su Valor de Importancia en el dosel y el sotobosque. Además, *Coffea arabica*, *Ocotea leucoxylon*, *Didymopanax morototoni* y *Solanum rugosum* aumentaron en Valor de Importancia en el sotobosque. *Coffea arabica* también dominaba el estrato de plántulas y brinzales (Tabla 2). Otras especies continuaron descendiendo en su Valor de Importancia aún después del huracán (Fig. 3a y b). Por ejemplo, *Miconia prasina*, *Didymopanax morototoni* y *Byrsonima coriacea* disminuyeron en el dosel, y *Miconia prasina* y *Alchornea latifolia* disminuyeron en el sotobosque.

De las 20 especies con dap  $\geq$  4cm (Tabla 3), 19 eran nativas - incluida una endémica - y la otra era una especie introducida y naturalizada. De las 25 especies en el sotobosque (Tabla 4), 22 eran nativas - incluida una endémica - y tres eran introducidas, incluidas dos naturalizadas. En el estrato de plántulas y brinzales (Tabla 2), de las 25 especies, 23 eran nativas - incluida una endémica y dos eran introducidas y naturalizadas.

### Cambios Estructurales

Las tendencias observadas en los cambios de densidad de árboles antes del huracán cambiaron después del huracán (Tabla 1). Antes del huracán, la densidad de árboles disminuyó en el dosel, mientras que después del huracán aumentó. En el 2003, tanto la densidad de árboles como el área basal eran más altos que en el 1995. En el sotobosque, la tendencia antes del huracán era una de aumento en la densidad de árboles y el área basal. Ambos parámetros disminuyeron inmediatamente después del huracán y luego aumentaron rápidamente. Al igual que el dosel, el sotobosque tenía una densidad de árboles y área basal más altas en el 2003 que en el 1995. La altura de los árboles, que estaba en aumento antes del huracán, disminuyó después del huracán y luego aumentó (Tabla 1). Este patrón se observó en el dosel y sotobosque y en el 2003 la altura promedio de los árboles era similar a la altura promedio en el 1995.

Para los árboles del dosel, los promedios del dap, área basal y altura eran distintos si se

**Tabla 3.** Diámetro a la altura del pecho (dap), altura, densidad y área basal de árboles por especie entre el 1995 al 2003 en un bosque secundario en Caguana en Utuado, Puerto Rico. Las especies están en orden descendiente de acuerdo a su Valor de Importancia. Los valores de diámetro y altura son promedios y están redondeados. Los espacios en blanco indican que la especie no se encontró ese año. Los datos son para árboles con diámetros  $\geq 4$  cm. Los datos del 1995 corresponden a medidas entre septiembre del 1995 a febrero del 1996, los del 1997 corresponden a medidas entre octubre del 1997 a marzo del 1998, los del 1998 a medidas entre diciembre del 1998 a enero del 1999; y los de 2003 a medidas durante abril del 2003. Los datos del 1995 y 1997 son pre-huracán y los del 1998 y 2003 son post-huracán. Ver el texto para la sinonimia de varias especies. La Tabla 1 contiene los promedios y totales para el rodal de los parámetros en la columna.

Especie	Diámetro (cm)			Altura (m)			Densidad de Árboles (tallos/ha)			Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)						
	1995	1997	1998	2003	1995	1997	1998	2003	1995	1997	1998	2003				
<i>Miconia prasina</i> <sup>b</sup>	7.7	8.2	7.8	7.4	7.9	8.2	7.4	7.1	640	437	427	311	3.86	2.88	2.4	1.5
<i>Didymopanax morototoni</i> <sup>b</sup>	18.2	16.6	20.6	15.5	14.0	14.8	10.5	10.6	100	87	78	126	4.40	2.9	3.5	4.0
<i>Eugenia jambos</i> <sup>a,c</sup>	4.9	5.3	5.2	5.8	6.0	6.8	6.7	7.4	340	204	408	796	0.65	0.5	1.0	2.4
<i>Casearia arborea</i> <sup>b</sup>	7.5	8.1	8.7	11.1	7.2	8.6	8.6	10.3	200	165	175	184	1.19	1.1	1.3	2.2
<i>Inga laurina</i> <sup>b</sup>	16.2	19.4	20.9	21.3	11.3	13.3	12.5	13.9	100	87	87	87	2.20	3.2	3.4	3.5
<i>Cecropia peltata</i> <sup>b</sup>	18.7	19.5	24.0	26.4	14.7	17.5	12.5	15.6	60	58	58	58	1.79	1.9	2.8	3.5
<i>Byrsonima coriacea</i> <sup>b</sup>	12.9	11.3	11.8	15.9	14.3	15.5	10.8	12.3	60	39	39	29	1.36	0.8	0.8	0.9
<i>Inga vera</i> <sup>b</sup>	31.7	27.5	27.9	27.9	18.2	13.9	8.7	10.1	20	19	19	19	1.58	1.2	1.2	1.2
<i>Cordia sulcata</i> <sup>b</sup>	29.9	17.8	17.4	19.0	15.9	9.4	9.9	11.0	20	19	19	19	1.40	0.8	0.7	0.8
<i>Ocotea leucoxyton</i> <sup>b</sup>	4.8	6.2	6.5	7.5	6.5	8.5	7.2	8.3	120	97	155	155	0.23	0.3	0.7	0.9
<i>Alchornea latifolia</i> <sup>b</sup>	7.9	9.3	8.7	8.9	7.0	9.3	7.5	8.7	80	87	117	136	0.47	1.0	1.1	1.4
<i>Myrcia splendens</i> <sup>b</sup>	5.2	5.8	6.6	8.1	8.4	8.5	8.6	9.6	100	9	78	97	0.21	0.1	0.3	0.6
<i>Andira inermis</i> <sup>b</sup>	15.4	15.9	7.7	13.4	14.9	15.6	7.9	9.4	20	19	23	19	0.37	0.2	0.2	0.3
<i>Miconia racemosa</i> <sup>b</sup>	4.2		4.0		6.8		3.1		20		10		0.28		0.0	
<i>Eugenia stahlit</i> <sup>b,d</sup>	4.1	4.2	4.1	5.5	6.7	6.1	7.0	6.1	20	19	19	29	0.03	0.0	0.0	0.1
<i>Meliosma herbertii</i> <sup>b</sup>		4.2	4.6	7		6.2	6.0	7		10	10	10		0.0	0.0	0.0
<i>Solanum rugosum</i> <sup>b</sup>				6.8				7.6				10				0.0
<i>Guarea trichilitoides</i> <sup>b</sup>				5.3				6.8				10				0.0
<i>Myrcia deflexa</i> <sup>b</sup>				4.6				6.6				10				0.0
<i>Palicourea barbinervia</i> <sup>b</sup>				4.1				6.6				10				0.0

a = naturalizada; b = nativa; c = introducida; d = endémica

estimaban utilizando todos los árboles medidos o si se utilizaban los promedios por especie (Tabla 1). Esto se debió en parte a la influencia de especies con árboles grandes, pero con baja densidad (ver próximo párrafo). En el sotobosque no se observó esta diferencia porque en la muestra del dosel había una representación más amplia de diámetros y alturas. En el sotobosque la diferencia en los promedios se observa más marcada en la variación de los datos, i.e., los errores estándar más bajos cuando se promedian todos los árboles en comparación al promedio de las especies.

El tamaño y densidad de árboles grandes asociados a algunas especies, influenciaron la diferencia en el promedio de parámetros estimados por especie vs. promedios estimados por todos los árboles del rodal (Tabla 3). Por ejemplo, *Didymopanax morototoni*, *Inga laurina*, *Cecropia peltata*, *Inga vera*, *Cordia sulcata* y *Andira inermis*, todas tenían árboles con daps > 15 cm y alturas > 13 m en el 1995. Estas especies ejercieron su influencia en la comunidad por medio de su área basal y despliegue vertical, ya que sus densidades eran bajas relativo a la especie con el Valor de Importancia más alto (*Miconia prasina*). Inmediatamente después del huracán estas especies con mayor altura todas perdieron altura y para el 2003 habían recobrado parte de su altura pre-huracán. La excepción fue *Didymopanax morototoni* que para el 2003 no había recuperado su altura original y *Cordia sulcata* que perdió su altura antes del huracán, pero se recobró parcialmente para el 2003. Otras especies en el rodal, particularmente *Miconia prasina* y *Eugenia jambos*, están representadas por árboles más pequeños, pero ejercen su influencia por medio de sus altas densidades de individuos.

Los parámetros estructurales expresados por especie en el sotobosque se mantuvieron más estables después del huracán (Tabla 4). Sin embargo, aquellas especies que tenían las alturas mayores en el sotobosque (*Cordia sulcata*, *Casearia arborea* e *Inga vera*) perdieron altura debido al paso del huracán. De éstas, solo *Cordia sulcata* recobró parte de su altura para el 2003. A pesar de la riqueza de especies del sotobosque, casi todas las especies tenían baja densidad. Algunas exhibieron altos incrementos en densidad después del huracán (*Eugenia jambos*, *Ocotea leucoxylo* y *Eugenia*

*stahlii*). Los cambios en densidad de árboles en el sotobosque son los causantes de los incrementos en el área basal por especies después del huracán, ya que el promedio de los diámetros varió poco.

La clase de 6 a 8 cm dap es la más común en el bosque (Fig. 4a). A través del tiempo muchas de las clases diamétricas disminuyeron a consecuencia del paso del huracán. Sin embargo, se observó un aumento en el porcentaje de árboles en las clases de 6 a 10 cm y 40 a 45 cm. La clase diamétrica más grande disminuyó a través de todo el tiempo del estudio. En cuanto a las clases de altura (Fig. 4b), las más comunes fueron de 6 a 9 m. Todas las clases de altura disminuyeron a consecuencia del huracán, excepto la clase de 7 a 8 m que aumentó.

La densidad de plántulas y brinzales promedió 77 plantas/m<sup>2</sup> con una amplitud de variación considerable (rango entre 10 y casi 300 plantas/m<sup>2</sup>), Fig. 5a. Estas plántulas y brinzales promediaban 0.4 cm y 0.5 m de diámetro y altura, respectivamente (Tabla 1). Ambos parámetros exhibieron variaciones amplias (Fig. 5 b y c). Los brinzales llegaron a 1 cm de diámetro basal y 1 m de altura.

### Mortalidad, Regeneración y Efecto del Huracán

La tasa de árboles muertos por unidad de área antes del huracán fue dos veces más alta en el sotobosque que en el dosel (Tabla 5). Estas tasas pre-huracán, tanto del dosel como en el sotobosque, se duplicaron con el paso del huracán Georges. Para el 2003, la tasa de árboles muertos por unidad de área continuaba elevada relativo a valores pre-huracán en el dosel, pero había disminuído en el sotobosque a valores más bajos que los valores pre-huracán. Once especies arbóreas sufrieron alguna mortalidad antes o después del huracán. *Miconia prasina* sufrió tasas de mortalidad superiores a las sufridas por otras especies. El valor máximo ocurrió en los árboles de *Miconia prasina* del sotobosque.

El ingreso de árboles por unidad de área a la clase diamétrica  $\geq 4$  cm (regeneración) fue más alto inmediatamente después del huracán que en el 2003 (Tabla 6). Antes del huracán no habíamos detectado ingresos a la clase diamétrica  $\geq 4$  cm. Los datos de regeneración los dominó *Eugenia jambos*, aunque observamos 14 especies que entraron a las especies

**Tabla 4.** Diámetro a la altura del pecho (dap), altura, densidad y área basal de árboles por especie entre el 1995 al 2003 en un bosque secundario en Caguana en Utuado, Puerto Rico. Las especies están en orden descendiente de acuerdo a su Valor de Importancia. Los valores de diámetro y altura son promedios y están redondeados. Los espacios en blanco indican que la especie no se encontró ese año. Los datos son para árboles con diámetros  $\geq 2$  y  $< 3.99$  cm. Los datos del 1995 corresponden a medidas entre septiembre del 1995 a febrero del 1996, los del 1997 corresponden a medidas entre octubre del 1997 a marzo del 1998; los del 1998 a medidas entre diciembre del 1998 a enero del 1999; y los de 2003 a medidas durante abril del 2003. Los datos del 1995 y 1997 son pre-huracán y los del 1998 y 2003 son post-huracán. Ver el texto para la sinonimia de varias especies. La Tabla 1 contiene los promedios y totales para el rodal de los parámetros en la columnas.

Especie	Diámetro (cm)			Altura (m)			Densidad de Árboles (tallos/ha)						Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)			
	1995	1997	1998	2003	1995	1997	1998	2003	1995	1997	1998	2003	1995	1997	1998	2003
<i>Eugenia jambos</i> <sup>a,c</sup>	2.7	2.9	3.0	2.6	4.5	5.1	5.1	4.6	870	1272	1078	1854	0.50	0.86	0.79	1.19
<i>Miconia prasina</i> <sup>b</sup>	2.7	3.0	3.0	2.7	4.3	5.1	4.5	4.5	210	350	194	204	0.13	0.22	0.13	0.14
<i>Coffea arabica</i> <sup>a,c</sup>	2.3	2.4	2.4	2.4	4.0	4.3	3.9	4.1	240	301	272	369	0.10	0.15	0.01	0.18
<i>Ocotea leucoxylon</i> <sup>b</sup>	2.5	2.8	2.8	2.7	3.9	4.8	3.9	4.1	90	175	136	252	0.05	0.13	0.11	0.16
<i>Myrcia splendens</i> <sup>b</sup>	2.7	3.1	3.0	3.3	5.3	6.2	5.1	6.1	70	97	58	49	0.04	0.09	0.05	0.02
<i>Alchornea latifolia</i> <sup>b</sup>	2.7	2.9	3.0	2.6	4.1	4.7	4.6	3.9	50	146	78	68	0.03	0.11	0.06	0.04
<i>Eugenia stahlii</i> <sup>b,d</sup>	2.4	2.8	2.9	2.7	4.2	4.6	4.0	4.8	30	68	68	214	0.01	0.04	0.04	0.12
<i>Andira inermis</i> <sup>b</sup>	3.2	3.0	2.2	3.0	4.8	4.1	3.9	5.0	30	39	19	29	0.03	0.02	0.00	0.02
<i>Cordia sulcata</i> <sup>b</sup>	3.4	3.0	3.1	3.2	4.1	7.9	4.3	5.1	20	10	10	10	0.02	0.01	0.03	0.01
<i>Byrsonima coriacea</i> <sup>b</sup>	3.0	2.5	2.5	3.0	3.6	3.9	4.6	5.6	20	10	10	10	0.02	0.00	0.00	0.01
<i>Casearea guianensis</i> <sup>b</sup>	2.4	2.7	2.7	2.6	4.7	5.3	4.8	4.1	20	29	19	19	0.01	0.02	0.01	0.01
<i>Casearea arborea</i> <sup>b</sup>	2.1	2.7	2.8	2.7	5.7	6.6	5.5	4.2	20	49	29	19	0.01	0.03	0.03	0.01
<i>Dichyomanax morotoni</i> <sup>b</sup>	2.1	2.7	2.9	2.6	4.9	5.0	5.1	4.6	20	68	68	58	0.01	0.04	0.05	0.04
<i>Meliosma herbertii</i> <sup>b</sup>	3.9	2.3	2.5	3.2	5.8	5.9	5.3	5.4	10	19	19	29	0.01	0.01	0.00	0.02
<i>Cecropia peltata</i> <sup>b</sup>	3.0	3.6	3.2	2.7	4.7	6.1	6.1	4.2	10	10	10	29	0.01	0.01	0.01	0.02
<i>Inga vera</i> <sup>b</sup>	2.8	3.0	3.2	3.2	8.1	7.0	5.9	5.3	10	19	19	19	0.01	0.01	0.01	0.02
<i>Solanum rugosum</i> <sup>b</sup>	2.3	2.6	4.3	2.0	4.7	5.4	5.8	3.1	10	10	19	10	0.00	0.00	0.02	0.00
<i>Palicourea riparia</i> <sup>b</sup>	2.1	2.4	2.6	2.0	2.9	3.5	3.2	3.1	10	10	10	10	0.00	0.00	0.01	0.00
<i>Miconia serrulata</i> <sup>b</sup>	3.1	2.4	2.6		5.7	3.9	5.0			19	10	10		0.02	0.01	0.00
<i>Palicourea barbinervis</i> <sup>b</sup>	3.3	3.9			6.5	4.7				19	10			0.02	0.01	
<i>Inga laurina</i> <sup>b</sup>	2.1	2.4		2.4	4.3	3.2	4.9			10	19	39		0.01	0.01	0.02
<i>Guarea trichilitoides</i> <sup>b</sup>	3.1	3.1	2.6		4.3	3.8	3.4			10	10	10		0.01	0.00	0.01
<i>Miconia racemosa</i> <sup>b</sup>		3.2	3.0			5.4	5.3			19	10	10		0.01	0.01	0.00
<i>Myrcia deflexa</i> <sup>b</sup>		2.2				4.5	4.5			49	49	49		0.02	0.02	0.02
<i>Coffea dewevre</i> <sup>c</sup>		2.3				4.0	4.0			10	10	10		0.01	0.01	0.01

a = naturalizada; b = nativa; c = introducida; d = endémica

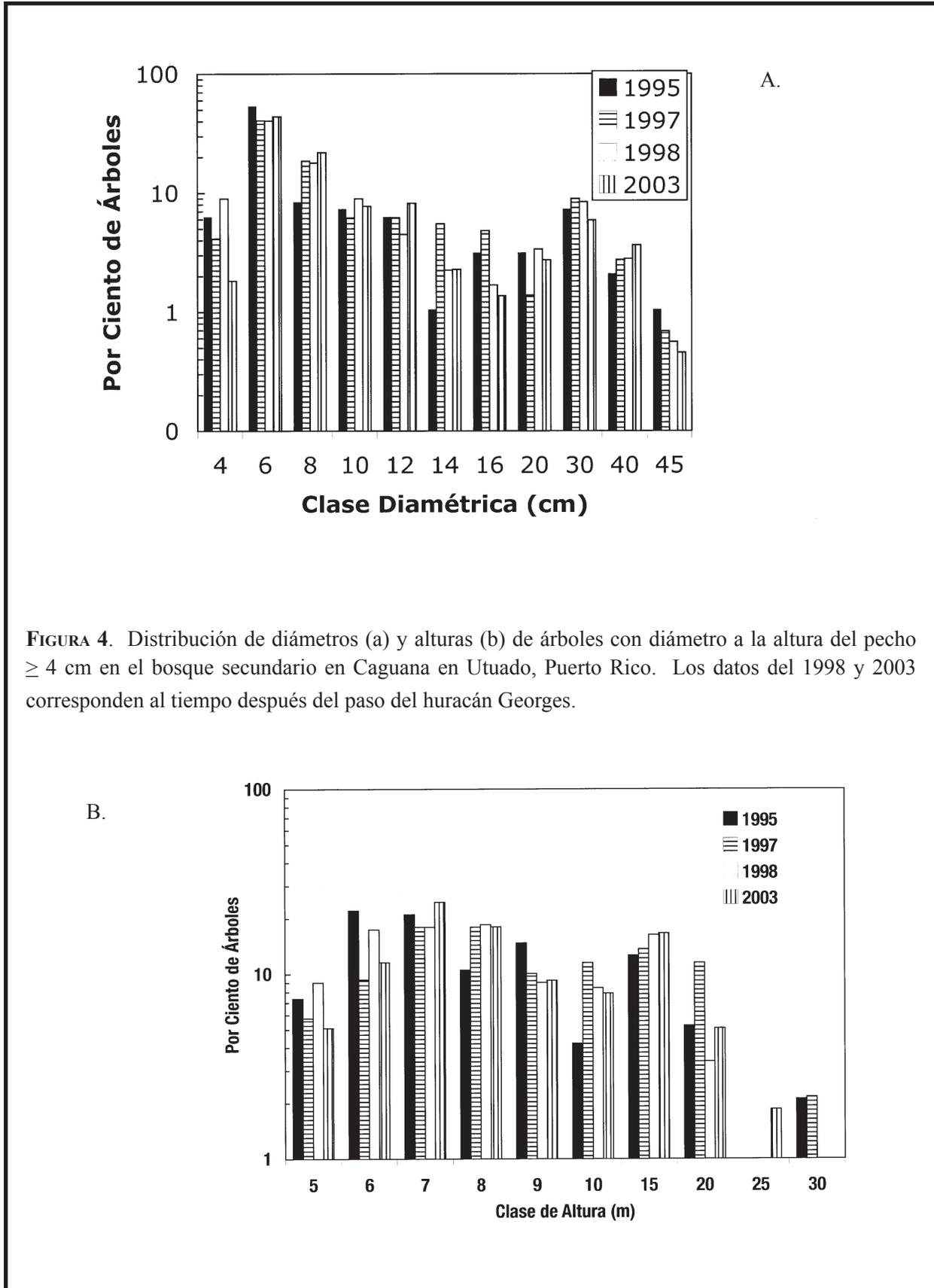
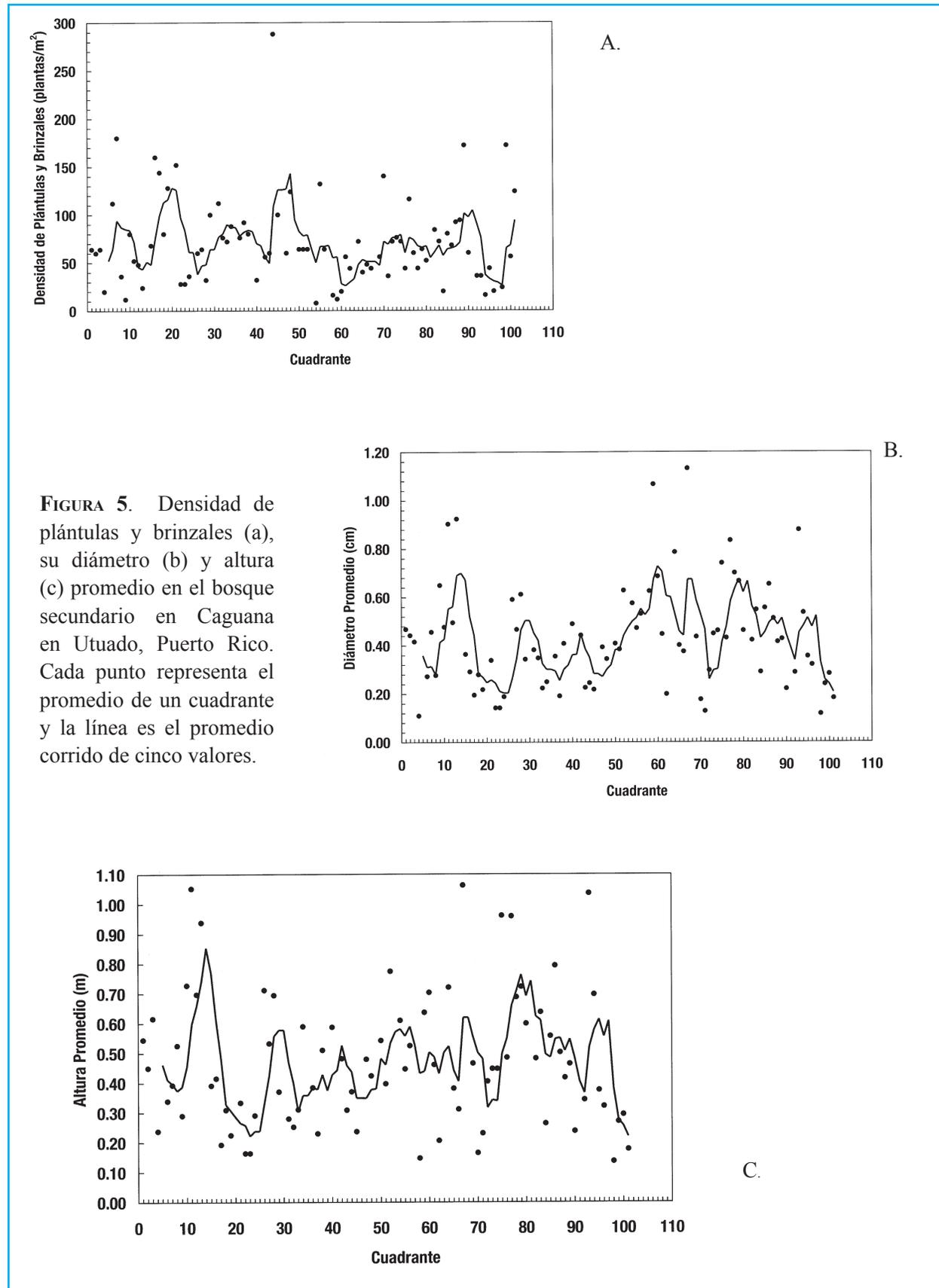


FIGURA 4. Distribución de diámetros (a) y alturas (b) de árboles con diámetro a la altura del pecho  $\geq 4$  cm en el bosque secundario en Caguana en Utuado, Puerto Rico. Los datos del 1998 y 2003 corresponden al tiempo después del paso del huracán Georges.



**TABLA 5.** Mortalidad de árboles (árboles/ha.año) de acuerdo a su diámetro a la altura del pecho (dap) en el bosque secundario en Caguana en Utuado, Puerto Rico. Los datos del 1997 corresponden al intervalo entre octubre del 1997 a marzo del 1998; los del 1998 al intervalo entre diciembre del 1998 a enero del 1999; y los de 2003 al intervalo entre enero del 1999 a abril del 2003. Espacios en blanco indican que no se registró mortalidad. Los datos del 1997 son pre-huracán y los otros son post-huracán. El total está redondeado. Ver el texto para la sinonimia de varias especies.

Especie	Árboles $\geq 4$ cm dap			Árboles 2-3.99 cm dap		
	1997	1998	2003	1997	1998	2003
<i>Miconia prasina</i> <sup>b</sup>	17.9	46.6	26.1	26.8	54.4	9.2
<i>Alchornea latifolia</i> <sup>b</sup>	4.5	7.8			15.5	1.5
<i>Casearea arborea</i> <sup>b</sup>	4.5		1.5			
<i>Didymopanax morototoni</i> <sup>b</sup>		7.8			7.8	
<i>Myrcia splendens</i> <sup>b</sup>		7.8				
<i>Ocotea leucoxylon</i> <sup>b</sup>			1.5	13.4	7.8	1.5
<i>Eugenia jambos</i> <sup>a,c</sup>			3.1	9.0	23.3	3.1
<i>Cecropia peltata</i> <sup>b</sup>			1.5			
<i>Coffea arabica</i> <sup>a,c</sup>				13.4	23.3	4.6
<i>Palicourea riparia</i> <sup>b</sup>						1.5
<i>Miconia recemosa</i> <sup>b</sup>						1.5
Total	26.8	69.9	33.7	62.6	132.0	23.0

a = naturalizada; b = nativa; c = introducida

del dosel. Las características de los árboles que entraron a la clase diamétrica  $\geq 4$  cm incluye un árbol de *Cecropia peltata*, que entre la fecha del huracán y el 2003, llegó a un diámetro de 37.7 cm y una altura de 22.2 m (Tabla 7). Sin embargo, el árbol promedio entró en el 2003 con un dap de 6cm y altura de 8.4m (medias de 4.7 cm y 7.4m, respectivamente). Inmediatamente después del huracán los valores promedios correspondientes para los árboles ingresando a la clase diamétrica  $\geq 4$  cm fueron de 4.8 cm y 6.5 m. En este momento, la clase entrante era más homogénea según indica la similitud entre el promedio y la media para estos parámetros.

Observaciones sobre el efecto físico del huracán sobre los árboles del sotobosque indican que después del huracán el número de árboles reclinados (vivos y muertos) aumentó, al igual que los árboles partidos o con algunos efectos del embate del viento (Tabla 8). Para el 2003, el número de árboles

mueritos en pie había disminuído, pero el número de árboles reclinados vivos continuó aumentando. También, para el 2003 se observó un aumento en el número de árboles con frutas, rebrotes y crecimiento de colonias de termitas.

## DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio reflejan un alto dinamismo en la composición de especies y la estructura en el bosque secundario en Caguana. Durante ocho años de estudio (1995 al 2003) observamos cambios netos en la composición de especies debido a la entrada y salida de especies del rodal bajo estudio (Tablas 1, 3, 4), cambios en el Valor de Importancia de las especies dominantes y de especies con Valor de Importancia bajos (Fig. 3) y cambios dramáticos en el área basal, densidad de tallos y altura del rodal y de las especies arbóreas (Tablas 1, 3, 4). Gran parte de estos cambios ocurrieron después del paso del huracán Georges

**TABLA 6.** Ingreso de árboles (árboles/ha.año) a la clase diamétrica a la altura del pecho  $\geq 4.0$ cm en el bosque secundario en Caguana en Utuado, Puerto Rico. El intervalo 1998 a 1999 corresponde a diciembre 1998 a enero 1999 y el intervalo 1999 a 2003 corresponde a enero del 1999 a abril del 2003. El total está redondeado. Todos los datos son post-huracán. Ver el texto para la sinonimia de varias especies.

<b>Especie</b>	<b>1998-1999</b>	<b>1999-2003</b>
<i>Alchornea latifolia</i> <sup>b</sup>	32	5
<i>Andira inermis</i> <sup>b</sup>	8	0
<i>Casearia arborea</i> <sup>b</sup>	16	3
<i>Cecropia peltata</i> <sup>b</sup>	0	2
<i>Didymopanax morototoni</i> <sup>b</sup>	0	6
<i>Eugenia jambos</i> <sup>a,c</sup>	168	65
<i>Eugenia stahlii</i> <sup>b,d</sup>	0	2
<i>Guarea trichilioides</i> <sup>b</sup>	0	2
<i>Miconia prasina</i> <sup>b</sup>	56	9
<i>Myrcia deflexa</i> <sup>b</sup>	0	2
<i>Myrcia splendens</i> <sup>b</sup>	24	6
<i>Ocotea leucoxylon</i> <sup>b</sup>	48	2
<i>Palicourea barbinervia</i> <sup>b</sup>	0	2
<i>Solanum rugosum</i> <sup>b</sup>	0	2
Total	352	106

a = naturalizada; b = nativa; c = introducida; d = endémica

**TABLA 7.** Características de los árboles que ingresaron a la clase diamétrica a la altura del pecho (dap) de  $\geq 4$ cm en el bosque secundario en Caguana en Utuado, Puerto Rico. El intervalo 1997 a 1999 corresponde a marzo del 1998 a enero 1999 y el intervalo 1999 a 2003 corresponde a enero del 1999 a abril del 2003. Todos los datos son post-huracán.

<b>Medida</b>	<b>1997-1999</b>		<b>1999-2003</b>	
	<b>Dap (cm)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Dap (cm)</b>	<b>Altura (m)</b>
Promedio	4.8	6.5	6.0	8.4
Error estándar	0.2	0.2	0.6	0.5
Número de árboles	44	44	67	56
Media	4.4	6.2	4.7	7.4
Valor más alto	7.3	10.2	37.7	22.2
Valor más bajo	4.0	1.4	4.0	3.5

**TABLA 8.** Observaciones sobre el efecto del huracán Georges a los árboles del sotobosque en el bosque secundario en Caguana en Utuado, Puerto Rico. Ver el texto para la sinonimia de varias especies.

Observación	Número	Especies
Pre-huracán (1977- 1998)		
Muertos en pie	9	<i>Coffea arabica</i> , <i>Miconia prasina</i> , <i>Eugenia jambos</i> , <i>Ocotea leucoxylum</i>
Muertos inclinados	5	<i>Eugenia jambos</i> , <i>Miconia prasina</i> , <i>Ocotea leu-</i> <i>coxylon</i> , <i>Coffea arabica</i>
Vivos inclinados	1	<i>Eugenia jambos</i>
Post-huracán (1988-1999)		
Muertos en pie	7	<i>Alchornea latifolia</i> , <i>Coffea arabica</i> , <i>Didymopanax</i> <i>morototoni</i> , <i>Miconia prasina</i>
Muertos inclinados	10	<i>Ocotea leucoxylon</i> , <i>Miconia prasina</i> , <i>Eugenia</i> <i>jambos</i> , <i>Coffea arabica</i> , <i>Alchornea latifolia</i>
Vivos inclinados	25	<i>Coffea arabica</i> , <i>Eugenia jambos</i> , <i>Inga vera</i> , <i>Miconia prasina</i> , <i>Ocotea leucoxylon</i> , <i>Solanum</i> <i>rugosum</i>
Sin corteza	1	<i>Miconia prasina</i>
Partidos	1	<i>Miconia prasina</i>
Estresado	1	<i>Eugenia jambos</i>
Con rebrotes	1	<i>Ocotea leucoxylon</i>
Post-huracán (2003)		
Muertos en pie	5	<i>Coffea arabica</i> , <i>Eugenia jambos</i> , <i>Miconia</i> <i>racemosa</i> , <i>Miconia prasina</i>
Muertos inclinados	9	<i>Eugenia jambos</i> , <i>Miconia prasina</i> , <i>Ocotea</i> <i>leucoxylon</i> , <i>Palicourea riparia</i>
Vivos inclinados	56	<i>Casearia guianensis</i> , <i>Coffea arabica</i> , <i>Didymopanax morototoni</i> , <i>Eugenia stahlii</i>
Partidos	3	<i>Eugenia jambos</i> , <i>Alchornea latifolia</i> , <i>Miconia prasina</i>
Tope y tronco muerto	4	<i>Inga vera</i> , <i>Miconia prasina</i> , <i>Coffea arabica</i> , <i>Ocotea leucoxylon</i>
Con rebrotes	1	<i>Ocotea leucoxylon</i>
Con frutas	3	<i>Coffea arabica</i>
Con termitas	6	<i>Eugenia jambos</i> , <i>Alchornea latifolia</i>

sobre el área de estudio (Tablas 5-8). Sin embargo, el rodal también había experimentado cambios en los parámetros estructurales y composición de especies a causa de su sucesión normal, ya que éste era un bosque secundario relativamente joven al momento de comenzar el estudio (Popper *et al.* 1999).

Los cambios observados en este rodal los evaluaremos desde tres puntos de vista: si el bosque es o no un bosque nuevo, el grado de resistencia y resiliencia ante el huracán y cómo compara la respuesta a perturbaciones de este bosque con la de otros bosques de Puerto Rico. Es necesario reconocer que debido a la falta de replicación del

rodal, los datos de este estudio sólo aplican al área muestreada y no deben generalizarse. Además, la dinámica en la entrada y salida de especies se debe en gran parte al tamaño reducido del área de muestreo (0.1 ha) relativo a la baja densidad de la mayoría de las especies (Tablas 3, 4).

### ¿Es el Bosque Secundario en Caguana un Bosque Nuevo?

Este estudio encontró 7 especies no reportadas por Popper *et al.* (1999) para el bosque Caguana. La mayor parte de estas especies están en el estrato de plántulas y brinzales y todas eran especies nativas. De hecho, la mayoría de las especies arbóreas en este bosque son especies nativas, inclusive una especie endémica (*Eugenia stahlii*). Sólo encontramos tres especies introducidas, dos de las cuales están naturalizadas y son abundantes en el rodal (*Coffea arabica* y *Eugenia jambos*). Ambas fueron favorecidas por el huracán (Fig. 3a, Tabla 4).

De acuerdo a Lugo y Helmer (2004) y Hobbs *et al.* (2006), los bosques nuevos contienen combinaciones de especies que no han ocurrido antes en los sitios bajo consideración. En el bosque en Caguana, la presencia y alto Valor de Importancia de *Eugenia jambos* y *Coffea arabica*, ambas especies introducidas y naturalizadas en Puerto Rico, en combinación con especies nativas y endémicas, ejemplifica el concepto de un bosque nuevo. En Puerto Rico no ocurrían bosques con estratos dominados por *Eugenia jambos* y *Coffea arabica* hasta que dichas especies fueron introducidas y propagadas en la Isla. En el caso de *Coffea arabica*, ésta fue cultivada en la región cafetalera y luego se naturalizó al abandonarse las fincas de café. La presencia de *Eugenia jambos* refleja disturbios antropogénicos (Brown *et al.* 2006) y ahora nuestro estudio demuestra que disturbios por huracanes también favorecen el crecimiento y regeneración de esta especie.

Establecido el hecho de que el bosque en Caguana es un bosque nuevo, entonces podemos analizar las características y funcionamiento de este bosque para aportar información que ayude a definir el valor de los bosques nuevos para la conservación. Podemos sugerir en base a la regeneración de

especies nativas en el estrato de plántulas y brinzales y el sotobosque, que la presencia de *Eugenia jambos* y *Coffea arabica* no aparenta interferir con la recuperación de especies nativas en los cafetales abandonados de Puerto Rico. Wadsworth y Birdsey (1983) y Lugo y Brandeis (2005) demostraron este principio a nivel de todo Puerto Rico con una base de datos más amplia.

### ¿Cuán Resistente y Cuánta Resiliencia Tuvo la Estructura del Bosque Ante el Embate del Huracán Georges?

El huracán Georges pasó sobre Puerto Rico a una velocidad de 24 km/h entre el 21 y 22 de septiembre del 1998 (Bennett y Mojica 2005). Su centro tenía un diámetro entre 40 y 48 km. Sus vientos máximos sostenidos fueron de 184 km/h con ráfagas de 240 km/h. Este huracán tenía vientos comparables o mayores a los vientos del huracán Hugo cuando pasó por el noreste de Puerto Rico en la vecindad del Bosque Experimental de Luquillo. El huracán Hugo tenía vientos máximos sostenibles de 166 km/h con ráfagas de 194 km/h (Scatena y Larsen 1991). Sin embargo, debido a la pérdida de instrumentos durante el huracán, es posible que los vientos del huracán Hugo fuesen mayores a los reportados y se estima que pudieron llegar a 227 km/h. A pesar de lo anterior, los vientos del huracán Georges sobre Utuado se encuentran entre los más altos registrados en Puerto Rico, superados sólo por los huracanes San Felipe y San Ciprián en el 1928 y 1932, respectivamente (Scatena y Larsen 1991).

Para evaluar la resistencia del bosque en Caguana ante el huracán Georges, utilizamos como indicadores la mortalidad de árboles, los cambios en los parámetros estructurales y los impactos físicos a la estructura del bosque inmediatamente después del huracán. Similarmente, la regeneración y la velocidad del desarrollo estructural después del huracán sirven de indicadores de la resiliencia del bosque a este disturbio.

El bosque en Caguana perdió las hojas a causa del viento, pero la defoliación no fue total. Las hojas del sotobosque se perdieron parcialmente y los estratos más bajos mantuvieron sus hojas a pesar de la fuerza de los vientos. El mayor impacto físico de la fuerza del huracán sobre la estructura del bosque

fue sobre la altura de los árboles y en particular los árboles grandes. Todas las clases de altura sufrieron una disminución en sus proporciones después del paso del huracán excepto la de 7 a 8m (Fig. 4b). Los árboles grandes también tenían los diámetros más altos los cuales también disminuyeron en frecuencia después del huracán (Fig. 4 a). Los árboles más altos perdieron más altura que los árboles del sotobosque (Tablas 3 y 4). Estos datos sugieren que el viento impactó los árboles más expuestos que son los de mayor tamaño. Al éstos perder ramas y troncos, impactaron los árboles del sotobosque. El impacto principal sobre el sotobosque fue el doblamiento de los árboles, muchos de los cuales murieron, pero la mayoría continuó con vida a pesar de estar doblados o inclinados (Tabla 8). El resultado neto de estos impactos fue la convergencia en el tamaño de los árboles sobrevivientes en las clases de alturas 6 a 9 m de altura y 6 a 8 cm de diámetro (Fig. 4). Debido a los cambios en el dosel, el suelo del bosque recibió más luz y aumentó la variabilidad del régimen de luz dentro del bosque, aumentó su temperatura y bajó la humedad relativa del aire según se infirió en el Bosque Experimental de Luquillo (Tanner *et al.* 1991).

De acuerdo a Lugo y Scatena (1996), los bosques normalmente experimentan tasas de mortalidad menores al 4 por ciento anual y generalmente alrededor de 1.6 por ciento anual. Ellos denominaron esa tasa de mortalidad como mortalidad normal o mortalidad de base y observaron que ante disturbios fuertes, las tasas de mortalidad aumentan a sobre el 5 por ciento anual, promediando 41 por ciento anual para nueve estudios que ellos examinaron. En el caso de un huracán, esa tasa mayor al 5 por ciento es instantánea, y es seguida por tasas relativamente altas de mortalidad residual en los años posteriores (Frangi y Lugo 1998).

Los datos de mortalidad anual de árboles que medimos para los árboles con  $dap \geq 4$  cm (Tabla 5) representan 1.4 por ciento de los tallos vivos antes del huracán. Esa tasa inicial aumentó a 5.1 por ciento anual inmediatamente después del huracán y bajó a 2.0 por ciento anual para el 2003. Para árboles con  $dap$  entre 2 y 3.99 cm, los valores correspondientes fueron 3.6 por ciento anual antes del huracán, 4.8 por ciento anual inmediatamente después y 1.1 por ciento anual en el 2003. Aunque

el paso del huracán causó un alza en la mortalidad de árboles, particularmente en los árboles del dosel, las tasas medidas en nuestro estudio están muy por debajo a las reportadas por Lugo y Scatena (1996) para disturbios similares, a pesar de la alta intensidad de los vientos del huracán Georges. Los datos también sugieren que las tasas de mortalidad normal son bajas en el bosque en Caguana, quizás debido a que los árboles en este bosque son jóvenes. Más aún, la mortalidad residual al huracán fue muy baja en los árboles del dosel y casi ninguna en los árboles del sotobosque (Tabla 5).

El paso del huracán Georges sobre el rodal en Caguana impactó mínimamente la densidad de árboles y el área basal (Tabla 1). De hecho, para árboles con  $dap \geq 4$  cm no se observó reducción alguna en la densidad y área basal como se ha observado en los bosques en Luquillo (Fu *et al.* 1996). Sin embargo, para los árboles del sotobosque, la densidad se redujo 21 por ciento y el área basal en un 22 por ciento como consecuencia del paso del huracán (Tabla 1). Aparentemente, la respuesta de regeneración (próximo párrafo) neutralizó el efecto de la mortalidad de árboles del dosel. Tal fenómeno no ocurrió en el sotobosque. Allí los árboles fueron impactados por la caída de troncos y ramas del dosel, que junto a la mortalidad observadas, causaron la reducción temporal en la densidad y área basal.

Los datos post-huracán más sobresalientes del estudio son los datos de regeneración (Tabla 6), aumento en la densidad de árboles, plantas y brinzales (Tabla 1), recuperación de la altura de los árboles (Tabla 2, Fig. 4b) y el aumento en área basal (Tabla 1). La incorporación de árboles a la clase diamétrica  $\geq 4$ cm fue 5 veces mayor a la mortalidad inmediatamente después del huracán y se mantenía 3.2 veces mayor a la mortalidad en el 2003. Eso, en combinación con una densidad de 773,800 plantas/ha en el estrato de plántulas y brinzales (Tabla 1), resultó en altos incrementos en la densidad y área basal de árboles en el dosel y sotobosque. Por ejemplo, comparado datos del 2003 con datos antes del huracán, la densidad aumentó 56 por ciento tanto en el dosel como en el sotobosque y el área basal aumentó 40 y 48 por ciento en el dosel y sotobosque respectivamente. Estos datos apuntan a mecanismos de resiliencia muy fuertes ya

que cuatro años después del huracán el bosque se encontraba en una etapa de crecimiento y desarrollo estructural más avanzado del que estaba antes del huracán. Más aún, los mecanismos de recuperación fueron más efectivos a través de la regeneración y crecimiento de árboles que por los rebrotes de árboles partidos por el viento (Tablas 1 y 8). Parte de esto se debe a que pocos árboles fueron partidos por el viento.

En resumen, la baja tasa de mortalidad y el poco impacto físico del viento a los árboles sugieren alta resistencia al huracán que se transformó en una alta resiliencia por medio de la regeneración de árboles. Como resultado, el huracán renovó el bosque, aumentó su área basal y densidad de árboles, enriqueció su complemento de especies (particularmente las nativas), a la vez que favoreció la expansión de dos especies naturalizadas.

La explicación para la alta resistencia a los vientos quizás se deba a que el desarrollo estructural de este bosque no había avanzado lo suficiente como para presentar un volumen estructural significativo ante el embate del viento. Después del huracán David en Dominica, se encontró que el impacto de ese huracán fue proporcional a la estructura de los bosques impactados (Lugo *et al.* 1983). Mientras más estructuralmente desarrollados los bosques, más impacto sufrieron a causa del huracán. Lo mismo reportaron Ostertag *et al.* (2005) en el bosque húmedo de La Condesa en Puerto Rico. Los árboles más grandes fueron más impactados por el viento que los pequeños. En Caguana, los árboles que medían sobre 10 m de altura sufrieron más efectos que los árboles más pequeños del rodal. El huracán causó más impacto al dosel que al sotobosque y permitió la entrada de luz a los estratos más bajos donde la regeneración de plántulas y brinzales aumentó considerablemente resultando en la entrada de nuevas especies nativas, el crecimiento rápido de especies introducidas y naturalizadas (*Eugenia jambos* y *Coffea arabica*) y el aumento significativo en el área basal y densidad de árboles. Por su acción, el huracán aceleró la sustitución de los viejos árboles de sombra que prevalecían en el bosque en Caguana dándole espacio al desarrollo y crecimiento de las especies nativas y naturalizadas que se habían establecido en el sotobosque.

### ¿Cómo Compara el Bosque en Caguana con Otros en Puerto Rico?

Popper *et al.* (1999) ya habían comparado el bosque en Caguana a otros bosques de Puerto Rico. Concluyeron que por ser un bosque joven que crece en una finca de café recientemente abandonada, el bosque en Caguana se caracterizaba por tener un dosel maduro (los árboles de sombra del café) con un sotobosque joven. Las medidas estructurales ubicaban a este bosque entre otros bosques en Puerto Rico en el rango bajo para área basal y relativamente alto para densidad de árboles. Después del huracán Georges, el bosque adelantó en área basal y continuó en el rango alto de densidad de árboles. En otras palabras, el bosque continúa evidenciando su poca edad y temprana etapa de sucesión. Sin embargo, el huracán impactó de manera diferente a los árboles grandes y algunas de las especies. Con la disminución en la altura y el Valor de Importancia, las especies de sombra residuales de la actividad cafetalera que antes dominaban el dosel perdieron parte de su dominio y otras especies ahora tienen la oportunidad de ocupar espacio en el dosel del bosque. El aumento en Valor de Importancia de *Eugenia jambos* y *Coffea arabica*, aseguran la presencia de estas especies en el bosque futuro. Con el tiempo, el rodal debe disminuir la densidad arbórea a medida que los árboles jóvenes aumentan en tamaño y ocupan más espacio.

Nuestro estudio contribuye a un nuevo aspecto de la comparación en Caguana con otros bosques en Puerto Rico. Presentamos datos sobre la dinámica estructural de este bosque secundario, particularmente la dinámica después de un huracán, lo que permite comparar al bosque en Caguana con otros bosques en Puerto Rico donde se ha documentado el efecto de, y respuesta a huracanes (Tabla 9). Tal comparación conlleva muchas dificultades porque no tenemos información precisa sobre la intensidad de los eventos de disturbio en relación a las mediciones de sus impactos. Sin embargo, con la información disponible podemos explorar posibles diferencias y semejanzas entre distintos ecosistemas, que sirven de hipótesis para estudios futuros.

Los datos de mortalidad instantánea en la Tabla 9 son todos relativamente bajos por dos

razones principales: los bosques recibieron menos impacto del huracán (como los datos del palmar) o la mortalidad se midió años después del huracán. En el caso del bosque secundario II en El Verde, el muestreo cubrió un área muy superior (16 ha) a la de los otros estudios y además el sector recibió menos impacto del huracán Hugo. A pesar de eso, la plantación sufrió la mortalidad más alta entre los bosques reportados en la Tabla 9.

Donde el bosque en Caguana refleja una resistencia mayor a la de los otros bosques en la Tabla 9, es en la reducción del área basal y densidad de árboles que sufrieron los árboles con  $\text{dap} \geq 4$  cm. Si excluimos el palmar, que recibió poco impacto por estar en un valle protegido (Frangi y Lugo 1991), en el bosque Caguana no se redujo ni la densidad o el área basal de los árboles con  $\text{dap} \geq 4$  cm. Sin embargo, la plantación, el bosque secundario I y el bosque maduro experimentaron reducciones significativas en esos parámetros. En un estudio en Guadalupe después del paso del huracán Hugo con vientos sostenidos de 230 km/h y ráfagas de 260 km/hr, se observaron las reducciones (%/año) en el área basal y densidad de tres tipos de bosque al final de la página (Imbert *et al.* 1996):

Los valores más altos en Guadalupe son superiores a los observados en Puerto Rico, pero se deben en parte a la mayor intensidad del huracán a su paso sobre Guadalupe. Los datos de Puerto Rico, salvo Caguana y el palmar, están dentro del rango de variación en Guadalupe.

En cuanto al aumento en el área basal y la densidad después del huracán (i.e., la resiliencia), el bosque en Caguana exhibe la respuesta más rápida, con la excepción de la respuesta de la plantación relativo a su densidad (Tabla 9). Aunque hay pocos estudios publicados del crecimiento después del

huracán, es obvio que en los casos disponibles la regeneración ha sido por el crecimiento rápido e ingreso al dosel de plántulas, brinzales y árboles suprimidos sobrevivientes del huracán. En el bosque maduro, el mecanismo de respuesta principal fue el rebrote. Zimmerman *et al.* (1994) reportaron que 65 por ciento de los árboles sobrevivientes exhibieron rebrotes después del huracán Hugo. Los rebrotes en Caguana fueron mínimos (Tabla 8).

En resumen, el bosque en Caguana se distingue por su resistencia al huracán Georges y su rápida respuesta (alta resiliencia) después del huracán en términos del crecimiento rápido, aumento en área basal y densidad de árboles y la entrada de 14 especies nativas al bosque. Por otro lado, dos especies introducidas y naturalizadas a Puerto Rico también respondieron rápidamente al huracán y aumentaron su Valor de Importancia. Estos resultados sugieren que el bosque en Caguana continuará su desarrollo hacia su madurez con una composición de especies novel a Puerto Rico, pero que tal combinación de especies no impide que las especies nativas crezcan y prosperen a través del tiempo.

#### AGRADECIMIENTOS

Este estudio se llevó a cabo en colaboración con la Universidad de Puerto Rico y es parte de un acuerdo entre el Servicio Forestal de los Estados Unidos de América y la Escuela Superior Vocacional Luis Muñoz Rivera, de Utuado. Los siguientes estudiantes coleccionaron los datos de campo: Gisela Báez Sánchez, José Costa Malaret, Shajira De Jesús Santos, Patricia Delgado Cordero, Jesús Figueroa González, Edgardo González, Daniel González Rivera, Ildaliz Loucil Rivera, Merilyn Maldonado Afanador, José Matos Cuevas, Katherine Quiñones González, Mabel Ramírez Vélez, Myrnaly Rodríguez Correa, Valerie Rodríguez Cortés, Edison Rosario, Marisol

Tipo de Bosque (rodales estudiados)	Reducción en Densidad	Reducción en Área Basal
Bosques puviales (5)	15-59	12-46
Bosques semi siempreverdes (6)	6-16	4-18
Manglares (4)	2-39	2-36

**TABLA 9.** Resistencia y resiliencia en 6 bosques en Puerto Rico. El bosque de este estudio está en Caguana. Los otros bosques están ubicados en el Bosque Experimental de Luquillo bajo condiciones de lluvia en exceso a 3,000mm. El palmar de *Prestoea montana* está ubicado a 750 m de elevación (Frangi y Lugo 1991, 1998). La plantación de *Swietenia macrophylla* es de 64 años en el sector El Verde (Fu *et al.* 1996). El bosque secundario I es de similar edad a la plantación y ubicado cerca de ésta (Fu *et al.* 1996) y el bosque secundario II es el bosque plantado en el sector La Condesa (Ostertag *et al.* 2005). El bosque maduro está ubicado en el sector El Verde (Zimmerman *et al.* 1994). El diámetro a la altura del pecho (dap). Los datos aplican a árboles con dap  $\geq$  4 cm. Celdas sin datos indican que no hay información.

Parámetro	Caguana	Palmar	Plantación	Bosque Secundario I	Bosque Secundario II	Bosque Maduro
Mortalidad base (%/año)	1	1	4.5	2	1	
Mortalidad instantánea (%/año)	5	1	31	7	8	9
Mortalidad residual (%/año)	2	1	0	0	5	
Reducción área basal (%/año)	0	0	26*	8*		
Reducción densidad (%/año)	0	3	34*	22*		19**
Ingreso a dap $\geq$ 4 cm (%/año)	26	24	17	1		
Aumento en área basal (%/año)	20	0.4	16	5		
Aumento en densidad (%/año)	23	7	53	8		
Nuevas especies	7	13	6	2		
Densidad de plántulas y brinzales (no/ha)	710,000				20,000 – 50,000***	

\*Basado en 0.25 años; \*\*basado en árboles muertos, socavados y partidos; \*\*\*Lugo y Zimmerman (2002).

Santiago, Jessenia Soto Pérez, Luis Soto Toledo y Jorge Vera. Agradecemos a los siguientes colegas la revisión del manuscrito: Frank. H. Wadsworth, Julie Hernández y Mildred Alayón.

Brown, K.A., F.N. Scatena y J. Gurevitch. 2006. Effects of an invasive tree on community structure and diversity in a tropical forest in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management* 226:145-152.

#### LITERATURA CITADA

Bennett, S.P. y R. Mojica. 2005. Hurricane Georges preliminary storm report: from the tropical Atlantic of the United States Virgin Islands and Puerto Rico. En [http://www.srh.noaa.gov/sju/public\\_report.html](http://www.srh.noaa.gov/sju/public_report.html). National Weather Service, Weather Forecast Office, NOAA. 15 p.

Brown, S. y A.E. Lugo. 1990. Tropical secondary forests. *Journal of Tropical Ecology* 6:1-32.

Frangi, J.L. y A.E. Lugo. 1991. Hurricane damage to a flood plain forest in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. *Biotropica* 23:324-335.

- Frangi, J.L. y A.E. Lugo. 1998. A flood plain palm forest in the Luquillo Mountains of Puerto Rico five years after Hurricane Hugo. *Biotropica* 30:339-348.
- Fu, S., C. Rodríguez Pedraza y A.E. Lugo. 1996. A twelve-year comparison of stand changes in a mahogany plantation and a paired natural forest of similar age. *Biotropica* 28:515-524.
- Hobbs, R.J., S. Arico, J. Aronson, J.S. Baron, P. Bridgewater, V.A. Cramer, P.R. Epstein, J.J. Ewel, C.A. Klink, A.E. Lugo, D. Norton, D. Ojima, D.M. Richardson, E.W. Sanderson, F. Valladares, M. Vilà, R. Zamora y M. Zobel. 2006. Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. *Global Ecology and Biogeography* 15:1-7.
- Imbert, D., P. Labbé y A. Rousteau. 1996. Hurricane damage and forest structure in Guadeloupe, French West Indies. *Journal of Tropical Ecology* 12:663-680.
- Lugo, A.E. 2004. The outcome of alien tree invasions in Puerto Rico. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2:265-273.
- Lugo, A.E., C. Domínguez Cristóbal y Noemí Méndez Irizarry. 2005. Efectos del Huracán Georges en el crecimiento de árboles en un bosque secundario en el interior de Puerto Rico. *Acta Científica* 19(1-3):23-40.
- Lugo, A.E. y E. Helmer. 2004. Emerging forests on abandoned land: Puerto Rico's new forests. *Forest Ecology and Management* 190:145-161.
- Lugo, A.E. y F.N. Scatena. 1996. Background and catastrophic tree mortality in tropical moist, wet, and rain forests. *Biotropica* 28:585-599.
- Lugo, A.E. y J.K. Zimmerman. 2002. Ecological life histories. Páginas 191-213 en J. A. Vozzo, editor. *Tropical tree seed manual*. Agriculture Handbook 721. USDA Forest Service, Washington, DC., USA.
- Lugo, A.E., M. Applefield, D.J. Pool y R.B. McDonald. 1983. The impact of hurricane David on the forests of Dominica. *Canadian Journal of Forest Research* 13:201-211.
- Lugo, A.E. y T.J. Brandeis. 2005. A new mix of alien and native species coexist in Puerto Rico's landscapes. Páginas 484-509 en D.F.R.P. Burslem, M.A. Pinard y S.E. Hartley, editors. *Biotic interactions in the tropics: Their role in the maintenance of species diversity*. Cambridge University Press, Cambridge, England.
- Molina, S. y S. Alemañy. 1997. Species codes for the trees of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. USDA Forest Service, Southern Research Station General Technical Report SO 122, Asheville, NC. 67 p.
- Ostertag, R., W.L. Silver, y A.E. Lugo. 2005. Factors affecting mortality and resistance to damage following hurricanes in a rehabilitated subtropical moist forest. *Biotropica* 37:16-24.
- Popper, N., C. Domínguez Cristóbal, A. Santos, N. Méndez Irizarry, E. Torres Morales, A.E. Lugo, Z.Z. Rivera Lugo, B. Soto Toledo, M. Santiago Irizarry, I.L. Rivera, L.A. Zayas y C. Colón. 1999. A comparison of two secondary forests in the coffee zone of central Puerto Rico. *Acta Científica* 13:27-41.
- Scatena, F.N. y M.C. Larsen. 1991. Physical aspects of Hurricane Hugo in Puerto Rico. *Biotropica* 23:317-323.
- Tanner, E.V.J., V. Kapos y J.R. Healey. 1991. Hurricane effects on forest ecosystems in the Caribbean. *Biotropica* 23:513-521.
- Wadsworth, F.H. y R.A. Birdsey. 1983. Un nuevo enfoque de los bosques de Puerto Rico. Páginas 2-27 en Puerto Rico Department of Natural Resources ninth symposium on natural resources. Puerto Rico Department of Natural Resources, San Juan, PR.
- Zimmerman, J.K., E.M. Everham-III, R.B. Waide, D.J. Lodge, C.M. Taylor y N.V.L. Brokaw. 1994. Responses of tree species to hurricane winds in subtropical wet forest in Puerto Rico: implications for tropical tree life histories. *Journal of Ecology* 82:911-922.

## ESTRUCTURA DE LA VEGETACIÓN EN LA ESTACIÓN BIOLÓGICA MATA DE PLÁTANO

*Sandra Molina Colón, Jong P. Banchs, Heinz Weidisch, Piel J. Banchs, Delly A. Acosta,  
Carmen Medina, y Juan P. Torres Molina*

Pontificia Universidad Católica de Puerto Rico

Programa de Ciencias Ambientales

2250 Las Américas Suite 614, Ponce Puerto Rico 00717-0777

### ABSTRACT

The Mata de Plátano Biological Station is a good example of secondary forest recovery following the abandonment of agricultural use in the Puerto Rico karst region. We compared vegetation structure in high slopes that received little impact with low slopes that were greatly impacted. The parameters studied were species composition, richness, diversity and homogeneity indices, basal area, density, relative importance, tree height and diameter, and multi-stem percentage versus single stem. The areas were found to be equal in all parameters except for species composition, which could be an indicator of a high rate of recovery for farms in Mata de Plátano. The species relative importance curve had shallow slopes when compared to curves obtained from abandoned agricultural farms in the Guánica State Forest Reserve. The research for this biological station should serve as a model for natural recovery of abandoned farms in the karst region and for other ecosystems in Puerto Rico.

### ABSTRACTO

La Estación Biológica de Mata de Plátano es un buen ejemplo de recuperación de bosques secundarios que surgen luego del abandono de áreas agrícolas en la región del karso en Puerto Rico. Se comparó la estructura de la vegetación en las laderas altas que fueron poco impactadas con las laderas bajas altamente impactadas. Los parámetros que se estudiaron fueron la composición de especies, riqueza, índices de diversidad y de homogeneidad, área basal, densidad, importancia relativa, altura y diámetro de los árboles, y por ciento de tallos múltiples versus sencillos. Las áreas fueron iguales en todos los parámetros, excepto en la composición de especies, lo cual puede ser indicio de que el grado de recuperación de las fincas en Mata de Plátano es bien alto. Las curvas de importancia relativa de las especies demostraron ser de pendientes más bajas al compararlas con las curvas obtenidas de fincas agrícolas abandonadas en la reserva del Bosque Estatal de Guánica. El estudio de esta estación biológica debe servir de modelo de recuperación natural de fincas abandonadas en la región del karso y en otros ecosistemas en Puerto Rico.

### INTRODUCCIÓN

La Estación Biológica Mata de Plátano es un ejemplo de resiliencia en la zona del karso en el norte de Puerto Rico. Está comprendida dentro de la zona de vida de los bosques húmedos de substrato calizo

en lomas según descritos por Lugo (2005). Hasta la década de los años 60 fue una finca de pastoreo y de frutos menores que se encuentra en estado de recuperación luego del abandono. Desde el 2001 es un área protegida y reservada para estudios ecológicos por la Universidad Interamericana de

Puerto Rico en Bayamón. Los estudios realizados en las reservas forestales en la zona kárstica en Puerto Rico incluyen datos de vegetación, fauna, biomasa, clima y suelo. De forma natural, en esta área hay tres tipos de asociaciones vegetales que varían desde bosque siempreverde en los valles y las laderas bajas hasta bosque caducifolio en las cimas de los mogotes, pero debido al alto grado de perturbaciones antropogénicas, es difícil observar este patrón. China (1980) describe cuatro asociaciones vegetales y atribuyó las transiciones entre ellas a los gradientes ambientales de la zona. En Mata de Plátano y en algunas de las reservas forestales para las cuales se ha descrito la vegetación, es preferible considerar la historia de uso del terreno al categorizar las áreas. Hay que considerar el tiempo de recuperación luego del abandono de uso de terreno, además de los gradientes climáticos, topográficos y edáficos para describir claramente los posibles patrones. Nuestro objetivo fue comparar la estructura de la vegetación entre áreas en estado de recuperación y áreas de vegetación madura según se distinguieron en fotografías aéreas de 1963. La perturbación fue más notoria en las laderas bajas de los mogotes y en el valle, pero no descartamos algún tipo de impacto en las cimas. Esperamos encontrar diferencias en la composición, área basal, altura, densidad y valor de importancia de las especies de árboles en las áreas de acuerdo al grado de uso en las pendientes. Utilizando los datos estructurales de China (1980), Álvarez *et al.* (1983a), Silander *et al.* (1986) y Rivera y Aide (1998) resumidos en Lugo (2005) se analiza la recuperación para algunos de los parámetros de vegetación entre las áreas. Este estudio preliminar será de utilidad para futuras investigaciones en esta estación biológica y podrá compararse con estudios previos similares en éste y en otros ecosistemas de Puerto Rico.

## MÉTODO

### Descripción del Área de Estudio

El área de la estación comprende 43.23 ha en el barrio Dominguito de Arecibo, al norte de Puerto Rico. La topografía incluye un valle rodeado

por cuatro mogotes con un máximo de 170 m de elevación sobre el nivel del mar, cinco sumideros y una cueva caliente donde habitan varias de las especies de murciélagos (Rodríguez Durán 2005). La vegetación arbórea comienza a aparecer en la falda de los mogotes hasta la parte más alta. Los valles están casi totalmente cubiertos por vegetación herbácea compuesta por yerbas, bejucos, helechos y otras plantas pequeñas, pero hay además algunas especies cultivables como árboles de guayaba, china, limón, guanábana, aguacate y café. Muy pocos de éstos se encuentran también en las laderas bajas de los mogotes junto a las especies nativas. En las faldas y en las laderas bajas de los mogotes, el dosel es más abierto que en las laderas altas, lo cuál puede ser indicativo de que hubo entresaque de árboles para obtener leña para hacer carbón y/o para poder cultivar café, guineos, plátanos y/o otros cultivos menores de acuerdo a la información recibida por los anteriores dueños de la finca.

### Muestreo

El estudio fue realizado durante el mes de julio de 2001 en diez parcelas circulares de 400 m<sup>2</sup> (radio de 11.28m). Cinco de ellas estaban localizadas en laderas bajas y cinco en laderas altas de los mogotes. Consideramos las laderas bajas como áreas altamente perturbadas y las laderas altas como áreas de vegetación madura según fueron observadas en las fotos. En cada parcela se estableció un área circular pequeña con un radio de 5 m y un área grande con un radio de 11.28 m. En el área pequeña se muestrearon todos los árboles con un diámetro a la altura del pecho (dap) mínimo de 2.5 cm y en el área grande los de un dap mínimo de 5 cm. Los árboles fueron identificados por especie y el dap y la altura fueron medidos. También fueron categorizados de acuerdo a el número de tallos por árbol (un tallo = sencillo y más de un tallo = múltiple) y de acuerdo al estatus de la especie (nativa, naturalizada, endémica, rara o en peligro de extinción).

## ANÁLISIS DE DATOS

Con estos datos se calculó para cada parcela la riqueza, el Índice de Diversidad de Shannon ( $H'$ ) y el Índice de Homogeneidad de Pielou ( $J'$ ) ambos descritos en Smith y Smith (2001); el área basal ( $m^2/ha$ ); la densidad de tallos (tallos/ha); el valor de importancia relativa de cada especie a base de los valores relativos de densidad y área basal; las clases de diámetro y de altura; el porcentaje de tallos múltiples y de tallos sencillos; y la similaridad (Índice de Similaridad de Sørensen modificación Motyka) con las otras parcelas. Se analizó si había diferencia entre los porcentajes de similaridad mediante una prueba de Chi-square. Para algunos de los otros parámetros se hicieron pruebas de comparación (Prueba t para muestras independientes; prueba U o Kruskal Wallis para muestras no-paramétricas) entre las parcelas en recuperación en laderas bajas y las parcelas más maduras en laderas altas. Los índices fueron computadorizados en el programa Microsoft Excel 98 y las pruebas estadísticas fueron realizadas en el Programa SPSS (Statistical Package for Social Sciences) versión 10 para Macintosh.

## RESULTADOS

Se registró un total de 80 especies de árboles en las diez parcelas (Tabla 1). De éstas, 70 son especies nativas y diez introducidas. Cinco de las especies nativas son endémicas y dos de esas cinco son raras. Seis de las diez especies introducidas se consideran naturalizadas. La mayoría (81 por ciento) de las especies nativas está en laderas altas de los mogotes, mientras que el mayor número de las especies introducidas (86 por ciento) está en laderas bajas. Las especies endémicas y las raras están igualmente representadas en ambos lugares. La riqueza de especies fue significativamente mayor en las laderas altas, sin embargo la diversidad y homogeneidad fue similar en ambas áreas.

No hay diferencia significativa en los valores de área basal (valor  $t = -0.01$ , g.l. = 8 y  $p = .99$ ), densidad de tallos (valor  $t = 1.7$ , g.l. = 8,  $p = .12$ ), diámetro

(valor  $t = -.49$ , g.l. = 8 y  $p = .64$ ), altura promedio (valor  $t = .08$ , g.l. = 8 y  $p = .94$ ) y porcentaje de tallos múltiples (valor  $t = -.63$ , g.l. = 8 y  $p = .55$ ) entre las áreas en recuperación en las laderas bajas y las áreas de vegetación madura en las laderas altas (Tabla 2). En términos generales, Mata de Plátano tiene un área basal de  $17 m^2/ha$  y una densidad de 3000 a 5000 tallos/ha. Casi todos los árboles son de tallos sencillos (90 por ciento) y miden aproximadamente siete metros de alto y de siete a ocho centímetros de diámetro (dap). Sin embargo, hay diferencia en cual es la especie de mayor importancia relativa entre las áreas. El área basal ( $m^2/ha$ ) de un árbol de ceiba (*Ceiba pentandra*) hizo a esta especie ser la más importante (17 por ciento) en las laderas bajas, mientras que en las laderas altas la especie más importante (10 por ciento) fue hoja menuda (*Eugenia monticola*). El porcentaje de homogeneidad es bien alto en las dos áreas. Hay poca diferencia entre el valor de importancia relativa de una especie a otra en términos generales (Fig. 1), lo cual se refleja en curvas de pendientes más bajas cuando se comparan con las curvas de valor de importancia del Bosque Estatal de Guánica (Molina Colón 1998).

Del total de 80 especies encontradas en las diez parcelas muestreadas en Mata de Plátano, sólo 21 son comunes a las dos áreas (Tabla 3). *Casearia guianensis*, *C. sylvestris* y *Eugenia monticola* ocupan los tres primeros lugares en cuanto a número de árboles en las laderas bajas. En áreas de bosque maduro *E. monticola* y *C. guianensis* ocupan los dos primeros lugares, mientras que el tercer lugar lo ocupa *Tetrazygia angustifolia*, la cual está en séptima posición en áreas de recuperación. La diferencia en las posiciones de valor de importancia entre las áreas refleja mucha diferencia en composición florística. El índice de similaridad entre las parcelas es igualmente bajo entre las parcelas del mismo tipo y entre las parcelas de distinto tipo (Fig. 2). No existe diferencia entre los valores de porcentaje de similaridad entre un área y otra (Kruskal-Wallis,  $n = 45$ ,  $p = .31$ ). Sin embargo, hay diferencia en los porcentajes de árboles en cada clase de altura entre las áreas (Prueba de Chi-square,  $p \geq .05$ ). Las clases de altura predominantes en las laderas altas que fue

**TABLA 1.** Descripción de la flora arborecente de la Estación Biológica Mata de Plátano en Arecibo, Puerto Rico. Datos obtenidos de los árboles con diámetro a la altura del pecho  $\geq 2.5$  cm en cinco parcelas de 400 m<sup>2</sup> en las laderas bajas (área en recuperación) y cinco en las laderas altas (área de vegetación madura).

<b>Especies</b>	<b>Pendientes Bajas</b>	<b>Pendientes Altas</b>	<b>Todas las Parcelas</b>
Nativas	36	54	70
Introducidas/ Naturalizadas	8	3	10
Endémicas	3	3	5
Raras	1	1	2
Especies totales	44	57	80
Riqueza promedio por parcela	12.2 (2.8) <sup>a</sup>	20.4 (.13) <sup>a</sup>	16.3 (2.0)
Diversidad promedio por parcela	2.68 (.60) <sup>a</sup>	3.78 (.13) <sup>a</sup>	3.23 (.34)
Homogeneidad promedio por parcela	0.85 (.00) <sup>a</sup>	0.87 (.00) <sup>a</sup>	0.86 (.00)

<sup>a</sup>Valores promedios con la misma letra no son significativamente distintos.

menos impactada fueron la de seis y la diez metros, mientras que en las laderas bajas donde ocurrió la mayor perturbación, las clases predominantes fueron las de dos a cinco metros (Fig. 3).

### DISCUSIÓN

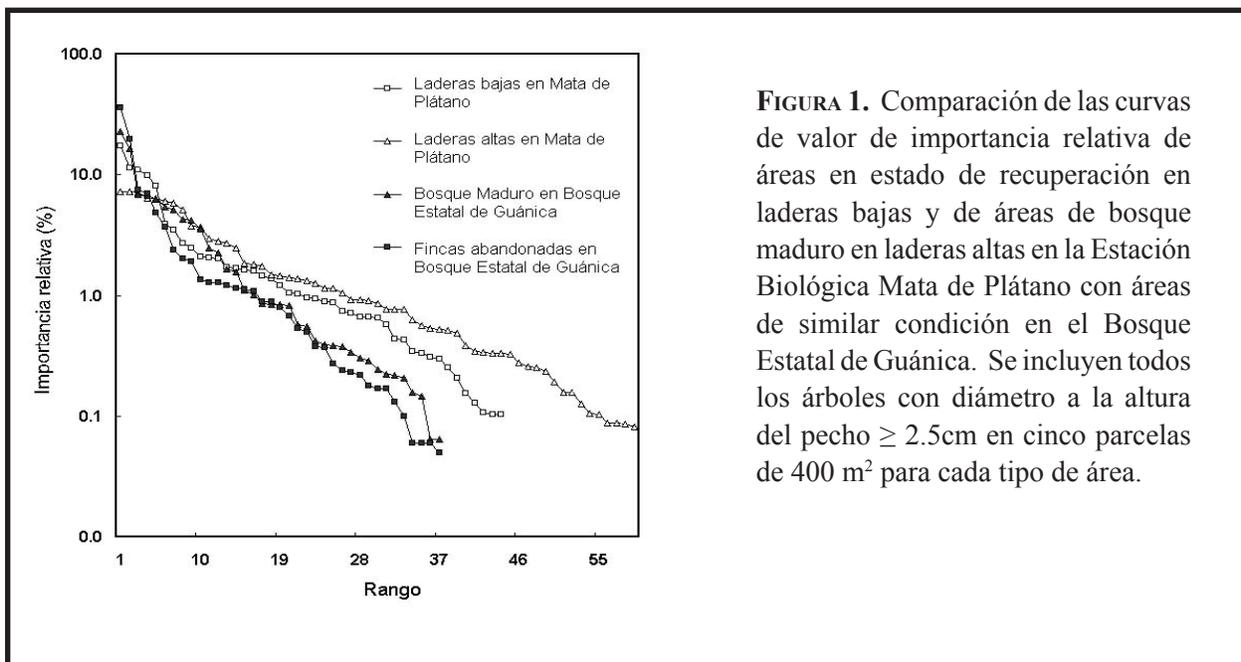
Las laderas bajas con aproximadamente 40 años de recuperación difieren de las laderas altas con vegetación madura en la riqueza de especies, la composición de especies y las clases de altura predominantes. A pesar de que las condiciones de humedad son mejores en las laderas bajas de los mogotes (Chinea 1980) y que estas condiciones deberían favorecer mayor número de especies, las

parcelas en laderas altas tienen una riqueza mayor y son un 67 por ciento más altas en número de especies nativas que las parcelas en las laderas bajas. Las mayores diferencias en las clases de altura ocurren de dos a cinco metros y de 11 a 15 metros. Casi 45 por ciento de los árboles en las laderas bajas son de dos a cinco metros, mientras que en las laderas altas solo 22 por ciento. Un 35 por ciento de los árboles en las laderas altas son de 11 a 15 metros, contrarios a 14 por ciento en las laderas bajas. No obstante, las semejanzas entre ambas áreas son mayores que las diferencias, lo cual sugiere una etapa avanzada de recuperación de las laderas bajas luego de haber cesado la intervención humana sobre estos terrenos.

**TABLA 2.** Aspectos estructurales de las parcelas en la Estación Biológica Mata de Plátano en Arecibo. Datos obtenidos de los árboles con diámetro a la altura del pecho  $\geq 2.5$  cm en cinco parcelas de 400m<sup>2</sup> en las laderas bajas (área en recuperación) y cinco en las laderas altas (área de vegetación madura).

Parámetro	Laderas Bajas	Laderas Altas
Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	17 (16) <sup>a</sup>	17 (5) <sup>a</sup>
Densidad (tallos/ha)	3316 (1648) <sup>a</sup>	5460 (2240) <sup>a</sup>
Especie de densidad mayor (tallos/ha)	<i>Casearia guianensis</i> (615)	<i>Casearia guianensis</i> (517)
Especie de área basal mayor (m <sup>2</sup> /ha)	<i>Ceiba pentandra</i> (6)	<i>Clusia rosea</i> (2)
Especie de importancia relativa mayor (%)	<i>Ceiba pentandra</i> (17)	<i>Eugenia monticola</i> (10)
Diámetro promedio (cm)	8 (1.2) <sup>a</sup>	7 (0.4) <sup>a</sup>
Altura promedio (m)	7 (1.2) <sup>a</sup>	7 (0.6) <sup>a</sup>
Tallos sencillos (%)	87 (5.9) <sup>a</sup>	90 (5.9) <sup>a</sup>
Tallos múltiples (%)	13 (1.0) <sup>a</sup>	10 (1.0) <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Valores promedios con la misma letra no son significativamente distintos.



**TABLA 3.** Valor de importancia relativa (IR) para las especies de árboles en la Estación Biológica Mata de Plátano. Datos obtenidos de los árboles con diámetro a la altura del pecho  $\geq 2.5$  cm en cinco parcelas de 400 m<sup>2</sup> en las laderas bajas (área en recuperación) y cinco en las laderas altas (área de vegetación madura).

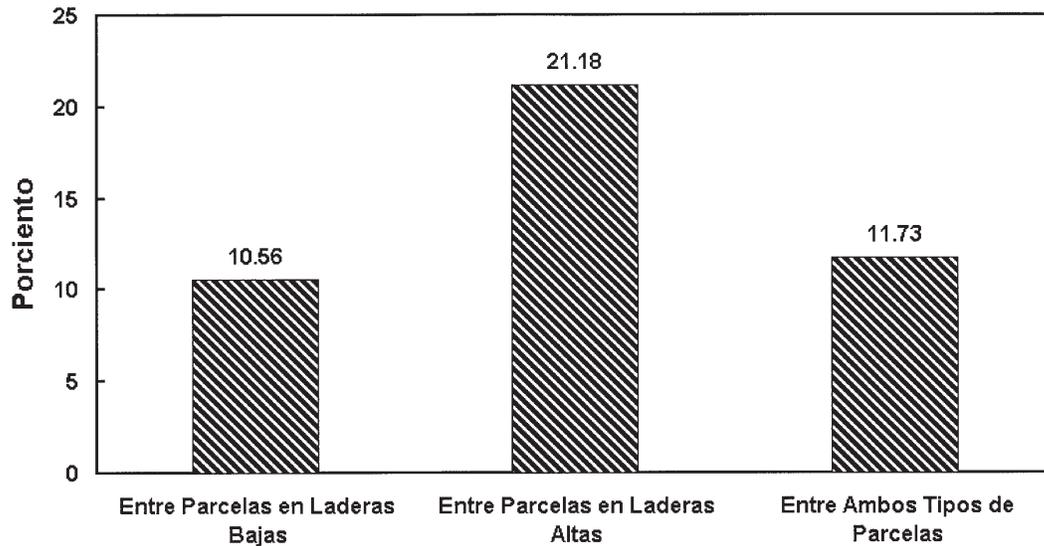
Especie	Laderas bajas			Laderas altas		
	Densidad	Área Basal	IR %	Densidad	Área Basal	IR %
	(tallos/ha)	(m <sup>2</sup> /ha)		(tallos/ha)	(m <sup>2</sup> /ha)	
<i>Casearia guianensis</i>	615	0.76	11.5	517	0.77	7.3
<i>Casearia sylvestris</i>	595	0.72	11.0	193	0.32	2.8
<i>Eugenia monticola</i>	529	0.65	9.8	529	0.65	9.8
<i>Guettarda valenzuelana</i>	198	0.18	3.5	397	0.45	5.1
<i>Tabebuia heterophylla</i>	101	0.20	2.1	274	0.37	3.7
<i>Zanthoxylum martinicense</i>	101	0.19	2.1	20	0.41	1.5
<i>Tetrazygia angustifolia</i>	86	0.26	2.0	322	1.30	7.1
<i>Andira inermis</i>	20	0.48	1.7	35	0.29	1.3
<i>Guarea guidonia</i>	35	0.24	1.2	35	0.14	0.8
<i>Bursera simaruba</i>	10	0.31	1.0	222	1.26	6.0
<i>Eugenia biflora</i>	35	0.17	1.0	91	0.19	1.5
<i>Cupania americana</i>	35	0.14	0.9	10	0.26	0.9
<i>Casearia decandra</i>	35	0.05	0.7	91	0.28	1.7
<i>Allophylus racemosus</i>	15	0.12	0.6	15	0.12	6.0
<i>Annona squamosa</i>	10	0.17	0.6	5	0.07	0.3
<i>Licaria parvifolia</i>	25	0.01	0.4	35	0.07	6.0
<i>Phoebe montana</i>	10	0.05	0.3	5	0.01	0.1
<i>Thouinia striata*</i>	10	0.02	0.2	61	0.11	0.9
<i>Coccoloba diversifolia</i>	5	0.01	0.1	283	1.17	6.3
<i>Comocladia glabra</i>	5	0.01	0.1	107	0.12	1.4
<i>Krugiodendron ferreum</i>	5	0.01	0.1	40	0.05	0.5
<i>Ceiba pentandra</i>	5	5.99	17.3			
<i>Inga fastuosa</i>	15	2.72	8.0			
<i>Cecropia schreberiana</i>	65	1.02	3.9			
<i>Hamelia patens</i>	142	0.19	2.7			
<i>Piper aduncum</i>	100	0.32	2.4			
Unknown 2	25	0.47	1.7			
<i>Spathodea campanulata</i>	76	0.17	1.6			
<i>Thespesia grandiflora*</i>	30	0.40	1.6			
<i>Citrus sinensis</i>	25	0.38	1.5			
<i>Ochroma pyramidale</i>	20	0.37	1.4			
<i>Lonchocarpus domingensis</i>	56	0.04	1.0			
<i>Adenantha pavoniana</i>	51	0.04	0.9			
<i>Coffea arabica</i>	51	0.03	0.9			
<i>Bourreria succulenta</i>	35	0.07	0.7			
<i>Drypetes lateriflora</i>	35	0.06	0.7			
<i>Urera baccifera</i>	35	0.05	0.7			
Unknown 1	25	0.02	0.4			
<i>Annona muricata</i>	10	0.04	0.3			
<i>Dendropanax arboreus</i>	5	0.09	0.3			

**TABLA 3.** Valor de importancia relativa (IR) para las especies de árboles en la Estación Biológica Mata de Plátano. Datos obtenidos de los árboles con diámetro a la altura del pecho  $\geq 2.5$  cm en cinco parcelas de 400m<sup>2</sup> en las laderas bajas (área en recuperación) y cinco en las laderas altas (área de vegetación madura). (Continuación).

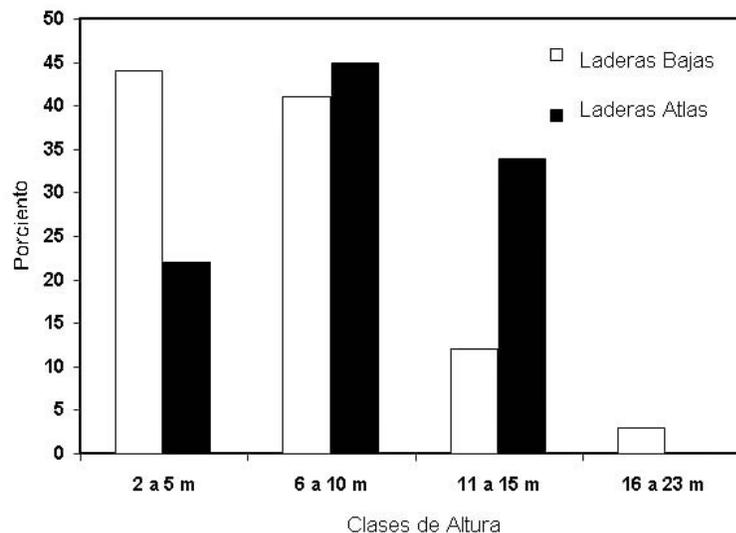
Especie	Laderas bajas			Laderas altas		
	Densidad	Área Basal	IR %	Densidad	Área Basal	IR %
	(tallos/ha)	(m <sup>2</sup> /ha)		(tallos/ha)	(m <sup>2</sup> /ha)	
<i>Styrax portoricensis</i> *	5	0.09	0.3			
<i>Trichilia hirta</i>	10	0.05	0.3			
<i>Eucalyptus resinifera</i>	5	0.03	0.2			
<i>Picrasma excelsa</i>	5	0.02	0.1			
<i>Clusia rosea</i>				146	1.85	7.2
<i>Gyminda latifolia</i>				437	0.72	6.4
<i>Ardisia obovata</i>				380	0.73	5.8
<i>Neea buxifolia</i> *				290	0.30	3.7
<i>Crossopetalum rhacoma</i>				181	0.40	3.0
<i>Chrysophyllum argenteum</i>				121	0.50	2.7
<i>Xylosma busifolium</i>				152	0.34	2.5
<i>Daphnopsis americana</i>				50	0.43	1.8
<i>Ocotea spathulata</i>				122	0.21	1.8
<i>Guettarda scabra</i>				96	0.16	1.4
<i>Eugenia confusa</i>				50	0.27	1.3
<i>Erithalis fruticosa</i>				91	0.09	1.1
<i>Gymnanthes lucida</i>				71	0.12	1.1
<i>Mastichodendron foetidissimum</i>				20	0.30	1.1
<i>Amyris elemifera</i>				35	0.17	0.9
<i>Spondias mombin</i>				5	0.28	0.9
<i>Coccoloba microstachya</i>				56	0.08	0.8
<i>Guapira obtusata</i>				20	0.18	0.8
<i>Citharexylum fruticosum</i>				35	0.09	0.6
<i>Ficus laevigata</i>				20	0.16	0.6
<i>Cordia laevigata</i>				15	0.12	0.5
<i>Nectandra coriacea</i>				30	0.06	0.5
<i>Bucida buceras</i>				5	0.09	0.3
<i>Eugenia foetida</i>				25	0.03	0.3
<i>Neolaugeria resinosa</i>				25	0.01	0.3
<i>Pimenta racemosa</i>				25	0.03	0.3
<i>Bunchosia glandulosa</i>				10	0.04	0.2
<i>Lonchocarpus glaucifolius</i>				10	0.03	0.2
<i>Prunus myrtifolia</i>				5	0.04	0.2
<i>Psidium guajava</i>				5	0.04	0.2
<i>Banara portoricensis</i> *				5	0.01	0.1
<i>Erythroxylon rotundifolium</i>				5	0.02	0.1
<i>Eugenia pseudopsidium</i>				5	0.01	0.1
<i>Palicourea crocea</i>				5	0.02	0.1
<i>Persea urbaniana</i>				5	0.01	0.1
<i>Tetrazygia elaeagnoides</i>				5	0.03	0.1

\*Especie endémica

**FIGURA 2.** Comparación de la composición de la vegetación arbórea en las parcelas de 400 m<sup>2</sup> en la Estación Biológica Mata de Plátano en Arecibo, Puerto Rico. Diez comparaciones dentro del mismo tipo de área y 25 entre los dos tipos de área. El valor indicado es el promedio de las comparaciones entre parcelas de los Índices de Similitud (porcentaje de similitud) de acuerdo a Sørensen (con modificación de Motyka). Se incluyen todos los árboles con diámetro a la altura del pecho  $\geq 2.5$  cm en cada parcela de 400 m<sup>2</sup>.



**FIGURA 3.** Clases de altura en áreas en recuperación y en áreas de bosque maduro en la Estación Biológica Mata de Plátano en Arecibo, Puerto Rico. Se incluyen todos los árboles con diámetro a la altura del pecho  $\geq 2.5$  cm en cinco parcelas de 400 m<sup>2</sup> para cada tipo de área.



Comparada con las reservas forestales protegidas, Mata de Plátano es bien rica en especies, bien diversa y bien homogénea (número de tallos/especie). La riqueza de especies encontradas en 0.4 ha es mayor a la riqueza de especies registrada en la reserva de Vega, pero más baja que la registrada en los bosques de Cambalache, Guajataca y Río Abajo (Lugo 2005). Los índices de diversidad en las dos áreas están dentro de los índices calculados (1.5 y 4.5) para este tipo de bosque. En Mata de Plátano hay cinco de las 32 especies de árboles endémicos a esta región (15 porciento). A pesar de no encontrarse diferencia en la densidad de tallos entre las áreas de estudio, ambos estimados son más altos que el promedio estimado (770 tallos/ha) para este tipo de ecosistema. El valor promedio estimado para área basal en los bosques húmedos de substrato calizo en lomas es más alto que los valores para las áreas de estudio. Igualmente, los valores de área basal en fincas abandonadas por espacio de 15 a 35 años que habían sido establecidas en los valles entre mogotes (Rivera y Aide 1998) tienen un valor promedio de área basal (32.4 m<sup>2</sup>/ha) mucho mayor que los encontrados en ambas áreas de estudio.

La densidad de tallos y el área basal en las laderas bajas y cimas (laderas altas) de Mata de Plátano fluctúa entre las estimadas para laderas bajas (4020 tallos/ha y 13.3 m<sup>2</sup>/ha) y cimas (4570 tallos/ha y 14.2 m<sup>2</sup>/ha) en la reserva de Cambalache (Weaver 1979). La recuperación de estos parámetros en Mata de Plátano aparentemente ha ocurrido a la misma velocidad que en otros lugares con usos similares y con el mismo sustrato, pero con clima mucho más seco. En cinco fincas de 45 años de abandono dentro de la reserva estatal de Guánica, estos parámetros se han recuperado totalmente al ser comparados con los valores medidos en un bosque maduro (Molina Colón 1998). Sin embargo, los árboles en Mata de Plátano son más altos y de mayor diámetro en el tronco que los árboles de bosque seco de sustrato calizo. El área basal y la densidad de tallos es un poco más baja que la que se ha medido en un bosque maduro en la reserva del bosque seco, donde se encontraron diferencias en estos parámetros de acuerdo al grado de recuperación de las áreas de distinto uso previo. Distinto al bosque seco, la regeneración de árboles es casi exclusiva por germinación de semillas de acuerdo al por ciento tan alto de tallos sencillos

(90 porciento). A pesar de que en las fincas abandonadas en Guánica, hay mayor porciento de tallos sencillos, hay muchos tallos múltiples (20 a 46 porciento), lo cual es indicativo del efecto de la muerte del tallo principal debido a la sequía severa o a fuegos inducidos en las áreas bajo cultivo. El corte de leña para hacer carbón aparentemente no ocurrió en Mata de Plátano o el corte posible no fue significativo para el desarrollo de tallos múltiples.

Existe una gran diferencia entre la composición de especies por parcela y por historial de uso previo en Mata de Plátano, lo cual es cónsono con lo expuesto por Lugo (2005), de que las diferencias en la composición de la vegetación causadas por las diferencias topográficas, edáficas y climáticas que ocurren naturalmente en este tipo de ecosistema, son acentuadas por la historia de uso de terreno. Sin embargo, la resiliencia alta del ecosistema en términos de la estructuración vegetal, es una gran ventaja para la recuperación total, incluyendo riqueza y diversidad florística y faunística, así como en el funcionamiento del ecosistema.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de Olga Ramos, Juan Ramírez y Alberto Rodríguez del Instituto Internacional de Dasonomía Tropical del USDA Forest Service en Río Piedras, Puerto Rico por toda la ayuda técnica que nos brindaron para el desarrollo de esta investigación; al Programa AMP de la UPR en Río Piedras y a la Pontificia Universidad Católica de Puerto Rico por la asistencia económica a los estudiantes que trabajaron en el campo; y al estudiante del Colegio Sagrado Corazón, Juan Pablo Torres Molina por sus servicios voluntarios durante el muestreo en el campo.

#### LITERATURA CITADA

- Álvarez, M., Acevedo, P. y Vázquez Otero, M. 1983a. Quantitative description of the structure and diversity of the vegetation in the limestone forest of Río Abajo forest. Progress Report, Project W-10. Puerto Rico Department of Natural Resources. San Juan, Puerto Rico.
- Chinea, J.D. 1980. The forest vegetation of the limestone hills of northern Puerto Rico. MS thesis. Cornell University, Ithaca, NY. 70 p.

- Lugo, A.E. 2005. Los bosques de Puerto Rico. Páginas 395-548 en R.L. Joglar, editor. Biodiversidad de Puerto Rico: vertebrados terrestres y ecosistemas. Editorial del Instituto de Cultura Puertorriqueña, San Juan, Puerto Rico.
- Molina Colón, S. 1998. Long-term recovery of a Caribbean dry forest after abandonment of different land uses in Guánica, Puerto Rico. Ph.D. dissertation, University of Puerto Rico. Río Piedras, PR. 270 p.
- Rivera, L.W. y Aide, T.M. 1998. Forest recovery in the karst region of Puerto Rico. *Forest Ecology and Management* 108:63-75.
- Rodríguez, Durán, A. 2005. Murciélagos. Páginas 239-274 en R.L. Joglar, editor. Biodiversidad de Puerto Rico: vertebrados terrestres y ecosistemas. Editorial del Instituto de Cultura Puertorriqueña, San Juan, Puerto Rico.
- Silander, S., Gil de Rubio, H., Miranda, M. y Vázquez, M. 1986. Los bosques de Puerto Rico. Compendio enciclopédico de los recursos naturales de Puerto Rico, volumen 10, tomo 2. Estado Libre Asociado de Puerto Rico, Departamento de Recursos Naturales, San Juan, Puerto Rico. 389 p.
- Smith, R.L. y Smith, T.H. 2001. Ecology and field biology. Sexta Edición. Benjamín Cummings. Pp. 389-390.
- Weaver, P.L. 1979. Tree growth in several tropical forests of Puerto Rico. USDA Forest Service Research Paper SO-152. Southern Forest Experiment Station. New Orleans, LA. 15 p.

## EL BOSQUE DEL PARQUE CENTRAL DE LA URBANIZACIÓN EL PARAÍSO: ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN DE ESPECIES Y CRECIMIENTO DE ÁRBOLES

Elena Román Nunci<sup>1</sup>, Humfredo Marcano Vega<sup>2</sup>, Iván Vicéns<sup>3</sup>, Gabriela Bortolamedi<sup>3</sup> y Ariel E. Lugo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Generales  
Universidad de Puerto Rico  
PO Box 23360  
Río Piedras, Puerto Rico 00931-3360

<sup>2</sup>USDA Forest Service, Southern Research Station  
1201 Ceiba Street, Jardín Botánico Sur  
Río Piedras, Puerto Rico 00926-1115

<sup>3</sup>Instituto Internacional de Dasonomía Tropical  
Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América  
1201 Calle Ceiba, Jardín Botánico Sur, Río Piedras, Puerto Rico 00926-1119

### ABSTRACT

We studied an urban forest established in 1988 by residents of the El Paraíso urbanization. In 2007 the forest had 37 forest species (9 native and 28 introduced) with diameter at breast height (dbh)  $\geq 4$  cm in a 1.0785 ha area. The most common species was the hybrid mahogany (*Swietenia macrophylla x mahagony*) with an Importance Value of 24.3 percent. The forest had two species endemic to Puerto Rico (maga or *Thespesia grandiflora* and the royal palm or *Roystonea borinquena*) as well as native primary forest species such as bulletwood or ausubo (*Manilkara bidentata*) and lignum vitae or guayacán (*Guaiacum officinale*) and native pioneer species such as pumpwood or female yagrumo (*Cecropia schreberiana*), among others. Pumpwood was the only species that propagated naturally after an adult tree planted by residents flowered. The forest's basal area was 17.3 m<sup>2</sup>/ha and the tree density was 127/ha. Because many of the trees were multi-stemmed density was 215/ha. The forest was distinguished by an absence of natural understory, little accumulation of litterfall, trees with mean dbh and height of 26.8 m and 9.8 m respectively, and rapid growth in the majority of the trees. Approximately half of the trees did not grow or grew very slowly with the remainder growing at rates greater than 20 cm<sup>2</sup>/year, including 15 percent that grew at rates greater than 100 cm<sup>2</sup>/year. Annual tree mortality was 1.4 to 1.5 percent. This forest's trees have grown at elevated rates and have developed a high and closed canopy in spite of the intensive use that the area receives. However, human activity impedes forest regeneration, which suggests that its regeneration and species composition are dependent upon the planting and care of the trees by the residents.

### ABSTRACTO

Se estudió un bosque urbano establecido en el 1988 por residentes de la urbanización El Paraíso. En el 2007 el bosque contenía 37 especies arbóreas (9 nativas y 28 introducidas) con diámetro a la altura del pecho (dap)  $\geq 4$  cm en un área de 1.0785 ha. La especie más común fue la caoba híbrida (*Swietenia macrophylla x mahagony*) con un Valor de Importancia de

24.3 por ciento. Las especies introducidas tenían un Valor de Importancia agregado de 86.1 por ciento. El bosque contenía dos especies endémicas a Puerto Rico (maga o *Thespesia grandifolia* y la palma real o *Roystonea borinquena*), al igual que especies de bosque primario nativo como el ausubo (*Manilkara bidentata*) y el guayacán (*Guaiacum officinale*) y especies nativas pioneras como el yagrumo hembra (*Cecropia schreberiana*), entre otras. El yagrumo fue la única especie que se propagó naturalmente luego de la floración de un árbol adulto sembrado por los residentes. El área basal del bosque fue de 17.3 m<sup>2</sup>/ha y la densidad de árboles fue de 127/ha. Muchos de los árboles tenían tallos múltiples por lo que la densidad de tallos fue de 215/ha. El bosque se caracterizó por la ausencia de un sotobosque natural, poca acumulación de hojarasca, árboles con dap y altura promedio de 26.8 cm y 9.8m respectivamente y por el rápido crecimiento de la mayoría de los árboles. Aproximadamente la mitad de los árboles no crecieron o crecieron muy lentamente y el resto creció a tasas mayores de 20 cm<sup>2</sup>/año, incluso un 15 por ciento que creció a tasas mayores de 100 cm<sup>2</sup>/año. La mortalidad anual de árboles fue de 1.4 a 1.5 por ciento. Los árboles de este bosque han crecido a tasas altas y han desarrollado un dosel alto y cerrado a pesar del uso intensivo que recibe el lugar. Sin embargo, la actividad humana impide la regeneración del bosque lo que implica que su regeneración y composición de especies depende de la siembra y cuidado de árboles de parte de los residentes.

## INTRODUCCIÓN

En Puerto Rico un 94 por ciento de la población vive en zonas urbanas donde el contacto con la naturaleza es menos directo (López Marrero y Villanueva Colón 2006). Los bosques urbanos permiten ampliar ese contacto. Un bosque urbano se define como “toda la vegetación arbórea asociada en y alrededor de la ciudad desde comunidades pequeñas rurales hasta la gran metrópolis” (Harris *et al.* 1999, Lugo 2002). Los bosques urbanos tienen orígenes variados. Por ejemplo, un bosque urbano puede ser un remanente de bosque natural en la ciudad (e.g., el Bosque Estatal San Patricio, Suárez *et al.* 2005), puede surgir luego del abandono de terrenos agrícolas (e.g., el Bosque Estatal del Nuevo Milenio, Lugo *et al.* 2005a) o en terrenos baldíos (e.g., a lo largo de zonas riparias, Lugo *et al.* 2001) o puede surgir como resultado de la siembra de parte de los residentes de la ciudad (e.g., el bosque del Parque Central de la Urbanización El Paraíso en Río Piedras). Los bosques urbanos le permiten a los habitantes de la ciudad mejorar el aspecto del paisaje además que proveen un sinnúmero de servicios directos e indirectos. Por ejemplo, los bosques urbanos reducen la contaminación del aire y el ruido, moderan la temperatura de la atmósfera

y mitigan el calentamiento, conservan agua, reducen la erosión del suelo, proveen recreación y sostienen la vida silvestre. Sin embargo, se conoce muy poco de la estructura del bosque urbano, su composición de especies o del crecimiento de sus árboles. Nuestro objetivo es proveer esa información para el bosque en El Parque Central de la Urbanización El Paraíso. Este estudio pretende contribuir al entendimiento básico de la ecología de los bosques urbanos tropicales los cuales han sido poco estudiados, particularmente en Puerto Rico.

## MÉTODOS

El estudio se realizó en tres etapas. Comenzó en abril y mayo de 2001 cuando se identificaron y midieron 108 individuos de 33 especies arbóreas que crecían en El Parque Central. Luego en noviembre de 2005 se volvieron a medir todos los árboles marcados en el 2001 además de tallos nuevos que se encontraron. Finalmente, en junio de 2007, se midieron todos los árboles en el parque ya que durante las medidas del 2001 y 2005 no se incluyeron todos los árboles presentes. Los datos del 2007 se utilizan para describir la estructura y composición de especies del bosque en El Parque Central. Los datos del 2001, 2005 y 2007 se utilizan

para estimar tasas de crecimiento para los intervalos de tiempo 2001-2005 y 2005-2007.

Se identificaron los árboles con diámetro a la altura del pecho ( $dap; 1.37\text{ m} \geq 4.0\text{ cm}$ ) por especies, se les midió el  $dap$  y la altura y se marcaron con etiquetas numeradas. El  $dap$  se midió con una cinta de tela calibrada para leer el diámetro a base de la circunferencia del árbol y la altura del árbol se midió desde la base hasta la punta más alta de la copa con un clinómetro o se estimó. La posición del parque ( $18^{\circ}38'20.31''$  de latitud y  $66^{\circ}06'24.3''$  de longitud) se obtuvo de Google Earth (<http://w.w.w.flashearth.com>). El área del parque ( $10,785\text{ m}^2$ ) se determinó delimitando los bordes del parque mediante el uso del Sistema de Posicionamiento Global. Durante cada etapa del estudio se re-emplazaron etiquetas deterioradas en algunos árboles.

Se calculó el área basal de cada árbol con la fórmula: Área Basal =  $\pi (dap/2)^2$ . El área basal del bosque se estimó con la fórmula:  $\Sigma$  área basal de todos los árboles en  $\text{m}^2/\text{área del parque en ha}$ . El origen de cada especie fue identificada de acuerdo a Molina y Alemañy (1997). La densidad de los árboles se estimó dividiendo el número de árboles por el área basal de todos los árboles de esa especie y su densidad por el área basal total y la densidad total (respectivamente) del bosque. El Valor de Importancia de cada especie fue estimado como la suma de la densidad relativa y el área basal relativa dividida entre dos y el valor se expresó en porcentaje.

Estimamos la tasa de crecimiento en diámetro y área basal de cada individuo restando la dimensión inicial de la final y dividiendo el resultado por el tiempo transcurrido entre medidas expresado en años. Utilizamos dos intervalos de tiempo para estos cálculos: 2001-2005 y 2005-2007. También estimamos la mortalidad de los árboles dividiendo el número de árboles que murieron durante el intervalo de medición por el tiempo transcurrido entre mediciones. El resultado se expresó en porcentaje basado en el número de árboles vivos al principio del intervalo de medición.

## RESULTADOS

### Composición de Especies y Valor de Importancia

En el bosque de El Parque Central se encontraron 137 árboles de 37 especies (Tabla 1). De éstas 37 especies, 9 son nativas y 28 son introducidas. Encontramos dos especies endémicas a Puerto Rico, la maga (*Thespesia grandiflora*) y la palma real (*Roystonea borinquena*). La especie dominante fue la caoba híbrida (*Swietenia macrophylla x mahagani*) con un Valor de Importancia de 24.3 por ciento, seguida por el flamboyán amarillo (*Peltophorum pterocarpum*; 7.7 por ciento) y laurel benjamín (*Ficus benjamina*; 7.4 por ciento; Tabla 1), todas éstas especies introducidas. El Valor de Importancia del laurel benjamín fue alto debido a su área basal y no a su densidad, ya que tenía tres tallos grandes. Para todas las especies nativas el Valor de Importancia acumulativo fue menor (13.9 por ciento) que el Valor de Importancia acumulativo de las especies introducidas (86.1 por ciento).

### Estructura

El árbol promedio en el bosque tenía un  $dap$  de  $26.8 + 1.1\text{ cm}$  ( $n = 232$ ) y una altura de  $9.8 + 0.2\text{ m}$  ( $n = 232$ ). La amplitud de las dimensiones de los árboles medidos fue de 6.1 a 151 cm en diámetro (Fig. 1) y de 3 a 16 m en altura (Fig. 2). Las clases de diámetro más frecuentes fueron las de  $> 10$  a 30 cm y las clases de altura más frecuentes la de  $> 7$  a 8 m y la de  $> 10$  a 12 m.

El bosque se caracterizó por la presencia de tallos múltiples en muchos de sus árboles por lo que la densidad de tallos (215/ha) fue mayor a la densidad de árboles (127/ha). El área basal del bosque fue de  $17.3\text{ m}^2/\text{ha}$ . Debido a los usos múltiples y manejo periódico de El Parque Central, no observamos un sotobosque con árboles o plántulas de los árboles del dosel. Ocasionalmente se observaron plántulas de árboles adultos, pero éstas no prosperan debido a la poda periódica del suelo del bosque. Solamente un individuo del yagrumo hembra se estableció naturalmente en un humedal dentro del parque. Cerca de ese árbol había un individuo adulto de esa especie plantado por los residentes. En algunos

**TABLA 1.** Especies arbóreas en el bosque del Parque Central de la Urbanización El Paraíso en orden de su Valor de Importancia (VI). Los datos son para tallos con diámetro a la altura del pecho (dap)  $\geq 4$  cm. El área basal es AB. Las especies con asterisco (\*) son nativas, el resto son introducidas.

Especie	DAP (cm)	Altura (m)	Densidad		AB (m <sup>2</sup> /ha)	VI (%)
			(tallos/ha)	(árboles/ha)		
<i>Swietenia macrophylla x mahagoni</i>	46.1	11.8	27	24	5.1	24.3
<i>Peltophorum pterocarpum</i> <sup>a</sup>	31.6	12.6	19	6	1.9	7.7
<i>Ficus benjamina</i>	91.6	10.3	3	2	2.3	7.4
<i>Melaleuca quinquenervia</i>	17.2	8.7	24	12	0.7	6.7
<i>Tabebuia heterophylla</i> *	21.1	9.2	19	11	0.7	6.4
<i>Lagerstroemia speciosa</i>	25.0	8.4	19	6	1.1	5.3
<i>Cordia sebestens</i>	16.2	5.8	9	9	0.2	4.2
<i>Terminalia catappa</i>	23.1	8.4	7	7	0.3	3.9
<i>Swietenia mahagoni</i>	37.0	12.2	6	5	0.6	3.6
<i>Tabebuia rosea</i>	35.3	13.0	6	5	0.6	3.6
<i>Roystonea borinquena</i> *	4.5	10.3	4	4	0.5	3.0
<i>Callistemon citrinus</i>	17.0	7.5	11	5	0.3	2.7
<i>Swietenia macrophylla</i>	31.1	11.9	5	4	0.4	2.6
<i>Delonix regia</i>	36.1	10.5	6	2	0.6	2.5
<i>Eucalyptus robusta</i>	28.5	14.1	5	3	0.3	2.1
<i>Pterocarpus indicus</i>	70.0	12.0	1	1	0.4	1.4
<i>Cassia fistula</i>	18.5	12.7	6	2	0.2	1.2
<i>Thespesia grandiflora</i> *	18.5	11.6	5	2	0.1	1.1
<i>Ceiba pentandra</i> *	48.0	10.0	1	1	0.2	0.9
<i>Cecropia schreberiana</i> *	13.5	8.0	2	2	0.0	0.8
<i>Schefflera actinophylla</i>	12.4	6.5	2	2	0.0	0.8
<i>Tamarindus indica</i>	16.8	8.5	5	1	0.1	0.7
<i>Cassia javanica</i>	18.2	11.6	4	1	0.1	0.6
<i>Cananga odorata</i>	29.2	10.5	1	1	0.1	0.5
<i>Chrysophyllum cainito</i>	12.9	7.0	4	1	0.1	0.5
<i>Tabebuia capitata</i>	11.6	7.5	5	1	0.1	0.5
<i>Syzygium malaccense</i>	25.5	11.0	1	1	0.0	0.5
<i>Mangifera indica</i>	25.2	8.0	1	1	0.0	0.5
<i>Melicoccus bijugatus</i>	23.8	8.0	1	1	0.0	0.5
<i>Tabebuia aurea</i>	23.2	12.0	1	1	0.0	0.5
<i>Petitia domingensis</i> *	22.7	11.0	1	1	0.0	0.5
<i>Grevillea robusta</i>	19.8	7.5	1	1	0.0	0.4
<i>Pimenta racemosa</i> *	9.8	8.0	3	1	0.0	0.4
<i>Cocos nucifera</i>	16.5	5.0	1	1	0.0	0.4
<i>Crescentia cujete</i>	12.1	6.0	1	1	0.0	0.4
<i>Guaiacum officinale</i> *	7.3	3.0	2	1	0.0	0.4
<i>Manilkara bidentata</i> *	9.6	4.4	1	1	0.0	0.4

<sup>a</sup>Sinónimo con *P. inermis*

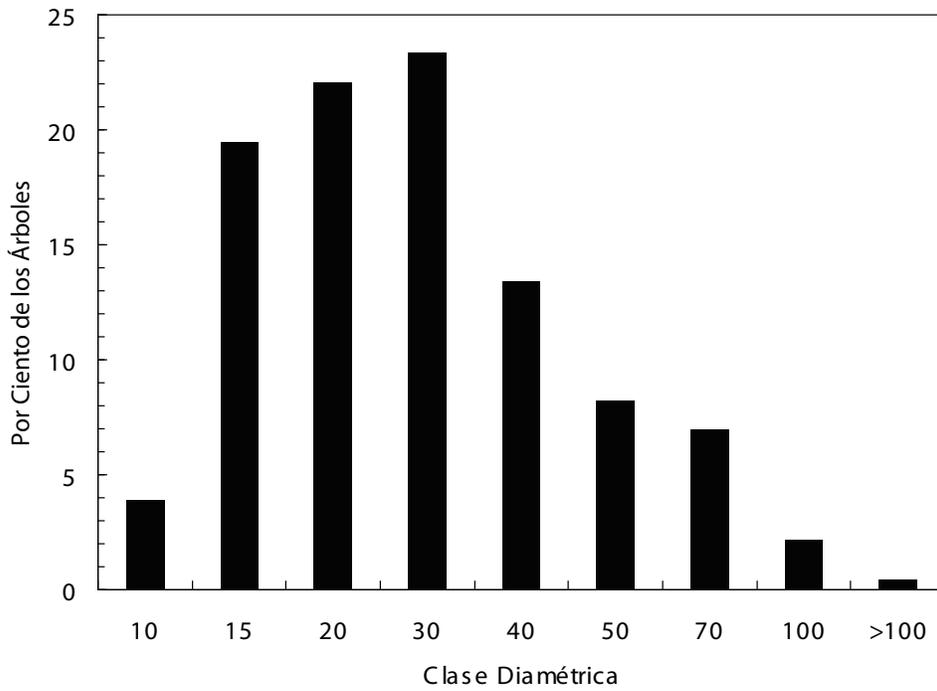


FIGURA 1. Histograma de los diámetros a la altura del pecho de árboles en el bosque del Parque Central de la Urbanización El Paraíso, Río Piedras, Puerto Rico. Los datos están basados en 232 medidas.

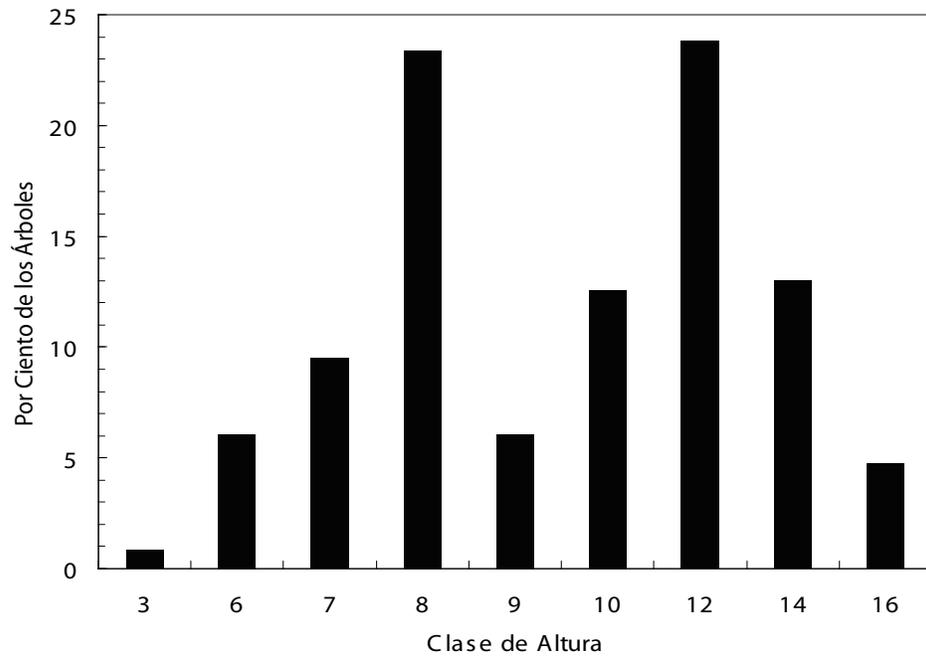


FIGURA 2. Histograma de las alturas de los árboles en el bosque del Parque Central de la Urbanización El Paraíso, Río Piedras, Puerto Rico. Los datos están basados en 232 medidas.

sectores del bosque había alguna acumulación de hojarasca, pero por lo general la capa de hojarasca no estaba desarrollada en este bosque. Visto desde el aire (Fig. 3), la distribución de los árboles forman un dosel cerrado en el extremo sur y en la periferia del parque. El sector central del parque se caracteriza por sus espacios abiertos y un humedal herbáceo.

### Crecimiento y Mortalidad

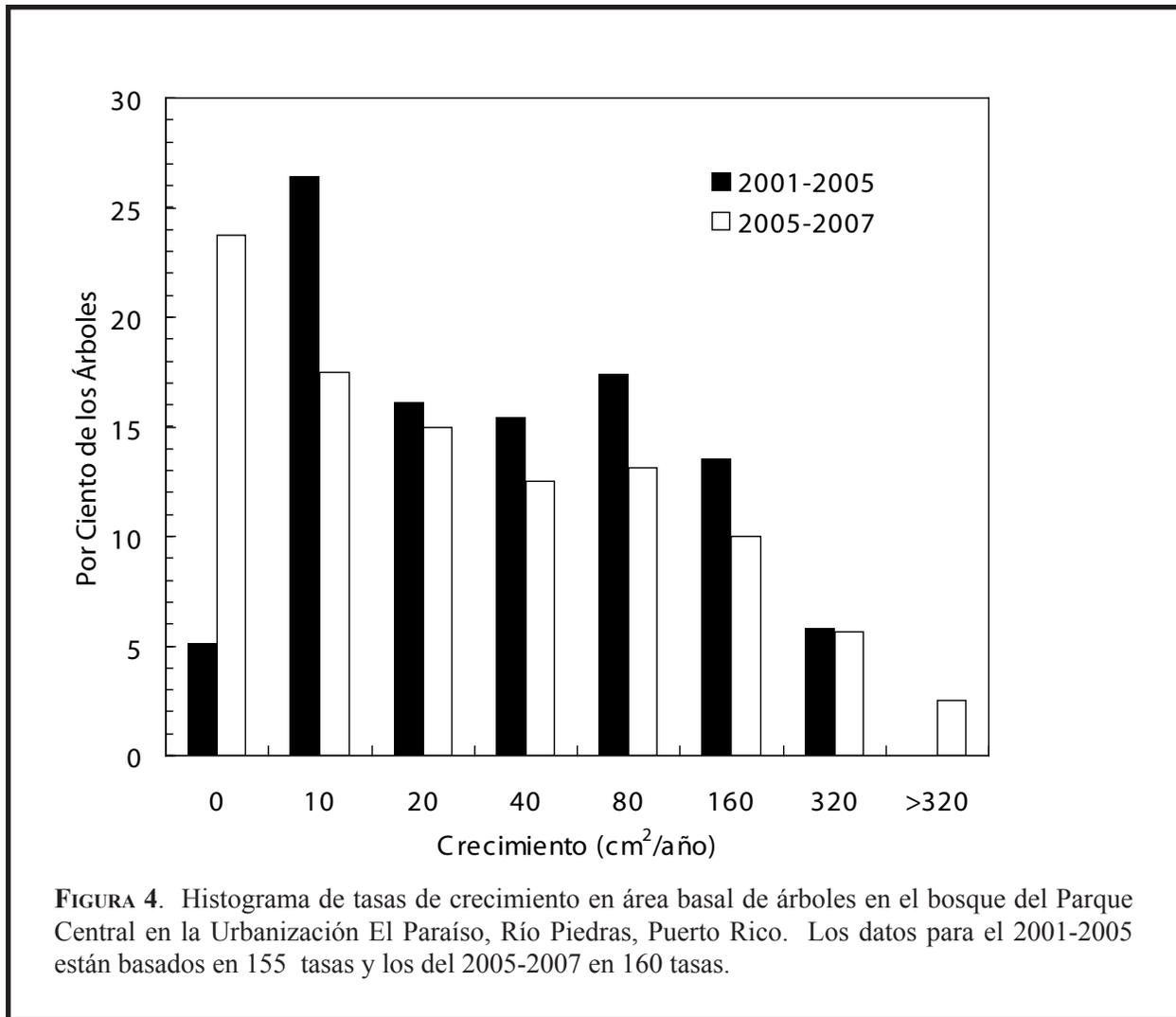
Las tasas promedio de crecimiento en diámetro y área basal fueron, respectivamente para el 2001-2005 y 2005-2007:  $1.0 \pm 0.1$  cm/año ( $n = 155$ ) y  $0.8 \pm 0.1$  cm/año ( $n = 155$ ); y  $44 \pm 4$  cm<sup>2</sup>/año ( $n = 155$ ) y  $45 \pm 6$  cm<sup>2</sup>/año ( $n = 160$ ). Casi la mitad de los árboles no crecieron o crecieron muy poco

(< 10 cm<sup>2</sup>/año) entre el 2001 y 2007 (Fig. 4). Sin embargo, observamos tasas de crecimiento altas ( $\geq 20$  cm<sup>2</sup>/año) en la otra mitad de los árboles.

Se encontraron 7 individuos muertos en el 2005 y tres en el 2007, lo que equivale a tasas anuales de mortalidad de 1.4 y 1.5 porciento entre el 2001-2005 y el 2005-2007, respectivamente. Las especies que sufrieron mortalidad en el primer intervalo fueron vomitel colorado (*Cordia sebestens*), eucalipto (*Eucalyptus robusta*), almendra (*Terminalia catappa*), palma real y caoba hondureña (*Swietenia macrophylla*). Almendra fue la de mayor mortalidad, ya que 3 individuos de esta especie murieron. En el segundo intervalo murieron árboles de acacia rosada (*Cassia javanica*), guayaba (*Psidium guajava*) y caoba híbrida.



FIGURA 3. Vista aérea del bosque del Parque Central en la Urbanización El Paraíso, Río Piedras, Puerto Rico. La imagen del parque (18°382031' Latitud y 66°06243' Longitud) se obtuvo de Google Earth (<http://w.w.w.flashearth.com>).



## DISCUSIÓN

En el bosque urbano de El Parque Central encontramos una gran variedad de especies de diferentes orígenes, la mayor parte introducidas (Tabla 1). Contrario a otros tipos de bosque (nativos o urbanos con regeneración natural) la composición de especies de este bosque la determinaron los residentes que sembraron los árboles. Lo que indica que las especies en el bosque de El Parque Central representan las preferencias de los residentes y/o la disponibilidad de plántulas o semillas en viveros públicos o privados. El resultado es una combinación de especies que normalmente no crecen juntas. Por ejemplo, el ausubo y el guayacán proceden de ambientes opuestos (húmedos y secos, respectivamente). De igual manera, las 28 especies

introducidas incluyen especies que aún no se han naturalizado y por lo tanto sólo crecen en lugares donde reciben ayuda del ser humano para su establecimiento, por ejemplo, laurel benjamín (*Ficus benjamina*) y reina de las flores (*Lagerstroemia speciosa*). Por todo lo anterior, el bosque en El Parque Central de la Urbanización El Paraíso, contiene una combinación única de especies que probablemente no se repita en otro lugar.

La abundancia de la caoba refleja la disponibilidad de esta especie en los viveros de las agencias públicas y privadas que proveen árboles a los residentes. Pero la gran mayoría de las especies en este bosque estaban representadas por pocos individuos sugiriendo que el bosque se diseñó para maximizar la diversidad de especies. El bosque

contiene una especie dominante, varias con Valores de Importancia intermedios y la gran mayoría tienen Valores de Importancia bajos (Tabla 1). Por el alto número de especies en una hectárea (37) el plan tuvo algún éxito ya que los bosques nativos en Puerto Rico acumulan entre 50 y 60 especies por hectárea (Lugo 2005). Por ejemplo, en el estudio del bosque secundario aledaño al Jardín Botánico de Río Piedras, se encontraron 36 especies nativas de 49 especies encontradas en total (Lugo *et al.* 2005a). Por lo tanto, el bosque del Parque Central tiene alta diversidad, aunque el total de especies es menor a lo que ocurre naturalmente. Además, comparado con bosques con regeneración natural en zonas urbanas (Suárez *et al.* 2005, Lugo *et al.* 2005a), la proporción de especies introducidas es mayor en El Parque Central.

En cuanto al desarrollo estructural del bosque del Parque Central, los índices de densidad y área basal son bajos en comparación a lo que se espera en bosques nativos o bosques urbanos con regeneración propia. Esto se debe a la disponibilidad de espacio en El Parque Central. El parque tiene sectores sin árboles (Fig. 3), lo que reduce el valor absoluto de los índices estructurales. Sin embargo, en cuanto a la altura y diámetro de los árboles individuales, no hay diferencia significativa con aquellos en bosques nativos o urbanos con regeneración propia. Tanto el dap y la altura de árboles en El Parque Central (Tabla 1, Figs. 1 y 2) comparan favorablemente con los árboles en bosques nativos de edad similar (Lugo 2005).

El crecimiento en área basal de la mitad de los árboles en El Parque Central es rápido (Fig. 4) y comparable al crecimiento de árboles en bosques en rápido desarrollo (ver Tabla 4 en Lugo *et al.* 2005b). Esto se lo atribuimos a tres factores. Primero al clima óptimo de crecimiento en la zona de vida subtropical húmeda donde ubica el parque y a la disponibilidad de espacio para crecer desde el momento en que se sembraron los árboles en el 1988. Segundo, la edad joven de los árboles, los cuales a los 18 años de edad, están en las etapas óptimas de crecimiento. Finalmente, los árboles de más rápido crecimiento en la Fig. 4, corresponden a los árboles más grandes del bosque los cuales tienen más acceso a los recursos de luz, nutrientes, y agua que los árboles suprimidos bajo el dosel.

Encontramos una relación lineal significativa entre el crecimiento y el área basal del árbol (Crecimiento en  $\text{cm}^2/\text{año} = 0.0629 \times \text{área basal en cm}^2 + 7.5822$ ;  $r^2 = 0.74$ ). La baja tasa de mortalidad (1.5 por ciento por año) refleja la edad temprana y el vigor de los árboles de este bosque.

Antes de establecer el bosque, los suelos de El Parque Central se saturaban de agua durante la época de lluvia con grandes escorrentías hacia las calles de la urbanización durante lluvias intensas. El crecimiento rápido del bosque aumentó la evapotranspiración del predio, lo que eliminó las escorrentías sobre el terreno y ayudó a reducir la saturación del suelo. Además, los residentes reportan aumentos notables en las poblaciones de aves en la urbanización desde que el bosque se estableció en El Parque Central. Ambos eventos, el hidrológico y el biótico, reflejan los servicios ecológicos del bosque urbano.

En resumen, el bosque de El Parque Central es un bosque único en su composición de especies debido a que el establecimiento y la regeneración de la combinación de especies que contiene dependen de la acción de los residentes. Sin esa intervención esta combinación de especies no hubiese sido posible. Tampoco lo es la regeneración de las especies presentes, pues el uso intensivo del parque y la poda periódica evitan la regeneración natural del bosque. Tales actividades humanas sin embargo, no impiden el crecimiento rápido de los árboles, el desarrollo de un dosel alto y cerrado en sectores del parque y la provisión de funciones hidrológicas y bióticas típicas de bosques nativos.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio se hizo en colaboración con la Universidad de Puerto Rico y fue parte de proyectos de investigación de estudiantes no-graduados del Departamento de Biología. Agradecemos la ayuda de Ian Freeburg, Gisel Reyes y Mildred Alayón. Los siguientes colegas revisaron el artículo: Ernesto Medina y Frank H. Wadsworth.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Harris, R.W., J.R. Clark y N. P. Matheny. 1999. *Arboriculture*, Third edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- López Marrero, T. d. M. y N. Villanueva Colón. 2006. *Atlas ambiental de Puerto Rico*. Editorial Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, PR.
- Lugo, A.E. 2002. What is an urban forest? Páginas 12-15 *en* T.W. Zimmerman, editor. *Proceedings of the 5th annual Caribbean urban forestry conference*. University of the Virgin Islands Cooperative Extension Service., St. Croix, U.S.V.I.
- Lugo, A.E. 2005. Los bosques. Páginas 395-548 *en* R.L. Joglar, editor. *Biodiversidad de Puerto Rico. Vertebrados terrestres y ecosistemas*. Editorial del Instituto de Cultura Puertorriqueña, San Juan, PR.
- Lugo, A.E., C. Domínguez Cristóbal y N. Méndez Irizarry. 2005a. Efectos del huracán Georges en la composición de especies y estructura de un bosque secundario en el interior de Puerto Rico. *Acta Científica* 19:41-61.
- Lugo, A.E., C. Dominguez Cristobal y N. Méndez Irizarri. 2005b. Efectos del huracán Georges en el crecimiento de árboles en un bosque secundario en el interior de Puerto Rico. *Acta Científica* 19:23-40.
- Lugo, S., B. Bryan, L. Reyes y A.E. Lugo. 2001. Riparian vegetation of a subtropical urban river. *Acta Científica* 15:59-72.
- Molina, S. y S. Alemañy. 1997. Species codes for the trees of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. USDA Forest Service, Southern Research Station General Technical Report SO 122, Asheville, NC.
- Suárez, A., I. Vicéns y A.E. Lugo. 2005. Composición de especies y estructura del bosque kárstico de San Patricio, Guaynabo, Puerto Rico. *Acta Científica* 19:7-22.

## EL BOSQUE ESTATAL DEL NUEVO MILENIO ANTES Y DESPUÉS DEL HURACÁN GEORGES

Ariel E. Lugo<sup>1</sup>, Elena Román Nunci<sup>2</sup>, Maya Quiñones<sup>1</sup>, Humfredo Marcano Vega<sup>3</sup> e Iván Vicéns<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Internacional de Dasonomía Tropical  
Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América  
Calle Ceiba 1201, Jardín Botánico Sur, Río Piedras, Puerto Rico 00926-1119

<sup>2</sup>Departamento de Biología  
Universidad de Puerto Rico  
Río Piedras, Puerto Rico 00926

<sup>3</sup>Inventario Forestal y Análisis, Estación Experimental del Sur  
Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América  
Knoxville, Tennessee

### ABSTRACT

We studied changes that occurred between 1997 and 2005 on a secondary wet subtropical urban forest in the University of Puerto Rico's Botanical Garden (Bosque Estatal del Nuevo Milenio). Hurricane Georges passed south of the forest on November 21, 1998 with 127 km/h winds. The study consisted of identifying species in 40 plots of 254 m<sup>2</sup> each, measuring the diameter at breast height (dbh) and height of the trees and estimating the structural indexes (basal area and tree density, species Importance Value [IV], growth and death rates of trees, and recruitment to the  $\geq 4$  cm dbh class). The analysis included the topographic position of the plot (draw, ridge, slope, and river valley) and the position of the canopy relative to the sun (dominant, co-dominant, intermediate, and suppressed). The forest had between 53 (2005) and 56 (1997) species per ha and the species with the highest IV in the forest, and in almost all the topographic positions, was *Spathodea campanulata*, an introduced species. This species recruited successfully after the hurricane, which suggests that the recurrence of disturbances will maintain this species in the forest. The rate of recruitment for young trees was similar to mortality in almost all of the topographic positions, suggesting that at 68 years, the forest is balanced with respect to its structural indices. In spite of little floristic variation with the topography, the species and tree density, hurricane effects, and growth rate exhibited significant change ( $p \leq .05$ ) in different topographic positions. Stands in divergent topographic positions and slopes experienced greater mortality and more snapped trees than those in convergent positions and river valley. The largest trees and the most developed structure were observed in convergent positions and river valleys. Hurricane winds affected the larger trees with dominant and co-dominant canopies more in spite of the fact that mortality for suppressed trees was greater. However, this mortality occurred after the hurricane. The hurricane's main structural effect was reduction in the height of trees. Trees of every height class, with the exception of classes between 4 to 8 m, were of less height in 2005 than in 1997. The mortality rate was significantly higher in the divergent topographic position where it exceeded the rate of recruitment. The rates of diameter, basal area, and height growth were low, negative, or zero for most of the trees and topographic positions. However, a significant proportion of the trees grew at rates comparable with the higher rates observed in native forests and plantations in Puerto Rico.

## ABSTRACTO

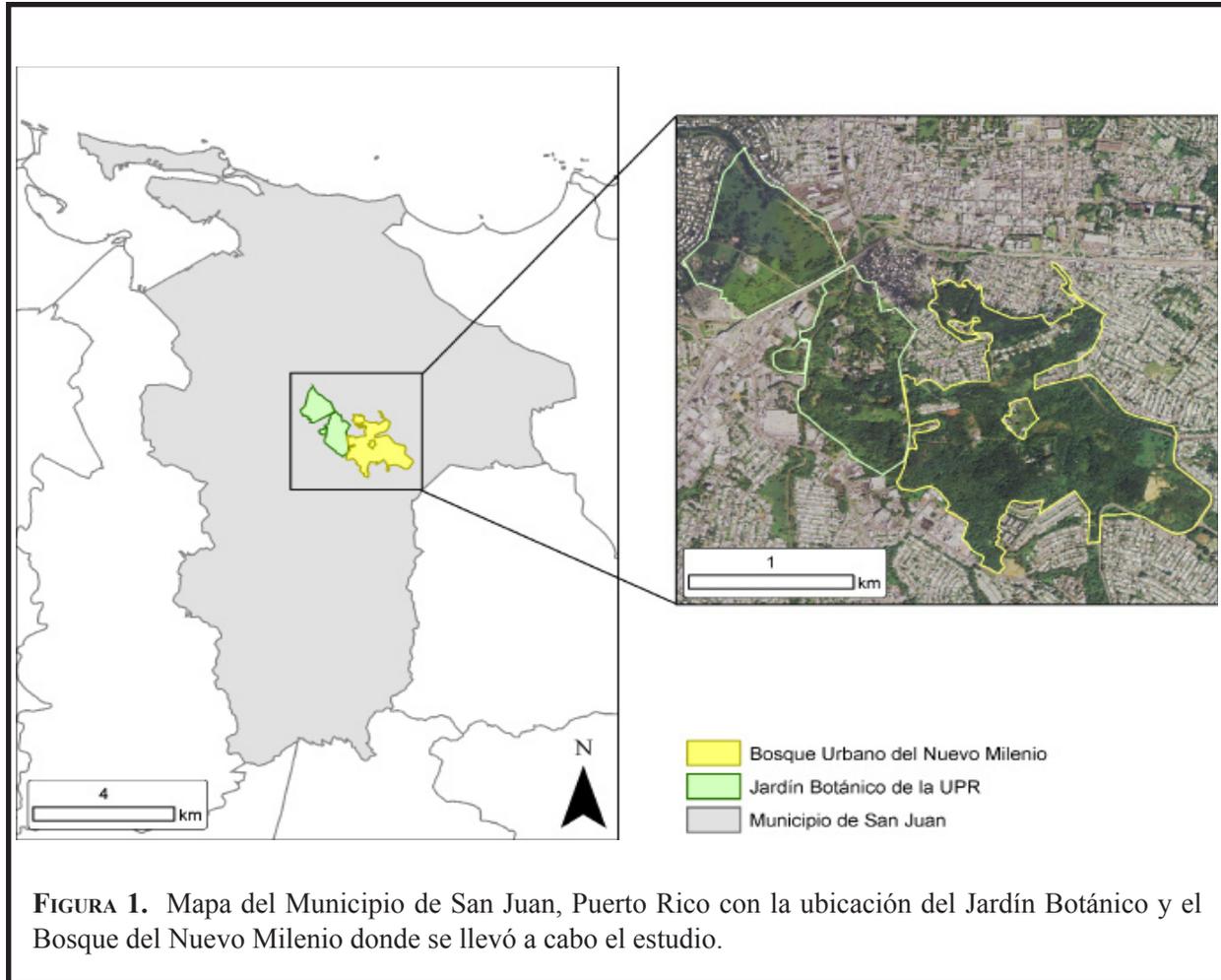
Estudiamos los cambios ocurridos entre el 1997 y el 2005 en un bosque secundario urbano subtropical húmedo en el Jardín Botánico de la Universidad de Puerto Rico (Bosque Estatal del Nuevo Milenio). El huracán Georges pasó al sur del bosque el 21 de noviembre de 1998 con vientos de 127 km/h. El estudio consistió en identificar las especies en 40 parcelas de 254m<sup>2</sup> cada una, medir los diámetros a la altura del pecho (dap) y altura de los árboles y estimar índices estructurales (área basal y densidad de árboles, Valor de Importancia [VI] de las especies y tasas de crecimiento y mortalidad de árboles y de reclutamiento a la clase  $\geq 4$ cm dap). El análisis incluyó la posición topográfica de la parcela (convergencia, divergencia, pendiente y valle ribereño) y la posición de la copa de árboles relativos a la luz solar (dominante, codominante, intermedia y suprimida). El bosque tenía entre 53 (2005) a 56 (1997) especies por ha y la especie con el VI más alto en el bosque y en casi todas las posiciones topográficas fue *Spathodea campanulata*, una especie introducida. Esta especie reclutó exitosamente después del huracán, lo cual sugiere que la recurrencia de disturbios la mantendrá en este bosque. La tasa de reclutamiento de árboles jóvenes fue similar a la de mortalidad en casi todas las posiciones topográficas, sugiriendo que a los 68 años el bosque está balanceado con respecto a sus índices estructurales. A pesar de poca variación florística con la posición topográfica, la densidad de árboles y especies, efectos de huracán y tasas de crecimiento exhibieron cambios significativos ( $p \leq .05$ ) en distintas posiciones topográficas. Rodales en las posiciones topográficas de divergencia y pendientes experimentaron más mortalidad y más árboles partidos que aquellos en las posiciones de convergencia y valle ribereño. Los árboles más grandes y la estructura más desarrollada se observaron en las posiciones de convergencia y valle ribereño. Los vientos del huracán afectaron más a los árboles grandes con copas dominantes y codominantes a pesar de que la mortalidad de árboles suprimidos fue la más alta. Sin embargo, esa mortalidad ocurrió después del huracán. El efecto estructural principal del huracán fue la reducción en la altura de los árboles. Árboles en todas las clases de altura, con la excepción de las clases entre 4 a 8m, tenían menos altura en el 2005 que en 1997. La tasa de mortalidad fue significativamente más alta en la posición topográfica de divergencia donde excedió la tasa de reclutamiento. Las tasas de crecimiento en diámetro, área basal y altura fueron bajas, negativas o cero para la mayor parte de los árboles y posiciones topográficas. Sin embargo, una proporción significativa de los árboles crecieron a tasas comparables con las tasas más altas observadas en los bosques nativos y plantaciones en Puerto Rico.

## INTRODUCCIÓN

El Bosque Estatal del Nuevo Milenio, ubicado parcialmente en el Jardín Botánico de la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras (Fig. 1), es un ejemplo del desarrollo ecológico posible en un contexto urbano cuando el sistema natural tiene el espacio y tiempo para crecer y desarrollarse. Contrario al mogote del Bosque Estatal San Patricio (otro bosque urbano) que se mantuvo bajo cobertura arbórea durante el siglo 20 (Suárez *et al.* 2005), los terrenos que comprenden el Bosque Estatal del Nuevo Milenio se dedicaron a uso agrícola intensivo. Eventualmente los terrenos

agrícolas fueron abandonados y surgió el bosque secundario que nos ocupa en este estudio. Para el 1997, el bosque tenía 49 especies arbóreas por ha con diámetros a la altura del pecho (dap) de hasta 82cm y una alta complejidad estructural (Despiou Batista 1997).

Entre noviembre 21 al 23 del 1998, el huracán Georges pasó sobre el centro de Puerto Rico con extensas lluvias y vientos. Al pasar al sur de Río Piedras el 21, los vientos en San Juan (7 km al norte de Río Piedras) eran de 127 km/h (<http://weather.unisys.com/hurricane/atlantic/1998H/GEORGES/track.dat>). Ese evento nos dio la oportunidad de



expandir el análisis de Despiau Batista (1997) y estudiar el efecto residual del huracán siete años después de su paso por Puerto Rico. Más aún, al remedir las parcelas establecidas por Despiau Batista, podemos estimar las tasas de crecimiento de los árboles de este bosque urbano.

Este estudio pretende contribuir al conocimiento sobre la respuesta de bosques secundarios subtropicales húmedos a los huracanes. Específicamente, exploramos las siguientes preguntas: ¿Cómo varía la estructura del bosque y las tasas de crecimiento con la posición topográfica? ¿Tuvo la posición topográfica algún efecto significativo en la respuesta de la vegetación al huracán? ¿Qué efecto tuvo el huracán sobre las tasas de crecimiento de los árboles? ¿Cómo comparan los índices estructurales

y de crecimiento de este bosque con los de otros bosques secundarios de Puerto Rico?

### HISTORIA DE USO DEL LUGAR DE ESTUDIO

Despiau Batista (1997) describe la historia de la actividad humana en el lugar donde se ubica el Bosque Estatal del Nuevo Milenio. A modo de resumen, las tierras donde ubica este bosque eran terrenos de la Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico antes de la designación del lugar como Bosque Estatal en el 2003 (Ley Número 206). El uso agrícola de las tierras se remonta al siglo 19 con el cultivo de la caña de azúcar. La Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico comenzó a funcionar

en el 1911 con un área de 97.7 ha. Allí, en adición a la caña de azúcar, se experimentó con pastoreo, granjas avícolas, vaquerías, producción de hortalizas y otras actividades agrícolas. En el 1938, se dedicaron 3.9 ha a ensayos forestales con una alta diversidad de especies y el esfuerzo se abandonó en el 1957. Sin embargo en el 1942, un inventario de árboles arrojó un total de 56 especies. El bosque secundario se estableció naturalmente en la región a medida que la actividad agrícola fue abandonada. Despiou Batista (1997) estimó la edad del bosque en 60 años, por lo que el bosque tenía 68 años en el 2005 cuando se estudió por segunda vez.

## MÉTODOS

Durante los meses de junio y julio del 1997, Despiou Batista (1997) estableció y estudió 40 parcelas con un área de 254m<sup>2</sup> cada una. Las parcelas se ubicaron al azar en cuatro posiciones topográficas utilizando los contornos del mapa topográfico del USGS. Las posiciones topográficas fueron zona de divergencia o parte de aguas (*ridge*), zona de convergencia o unión de aguas (*draw*), pendiente (*slope*) y valle ribereño (*river valley*). La elevación sobre el nivel del mar de las parcela varió entre 15 y 65m.

Todos los árboles con un dap (medido a 1.37m)  $\geq 4$ cm se identificaron a especie, se numeraron, se les midió el dap y altura y se clasificó la copa de acuerdo a su posición. A cada árbol se le asignó un número y se marcaron con una etiqueta de aluminio. El dap se midió con una cinta diamétrica de tela y la altura se midió con un clinómetro. Las copas se clasificaron de acuerdo a los criterios de Dawkins (1956): dominante (toda la copa expuesta a la luz), codominante (el tope de la copa expuesta a la luz), intermedia (la copa bajo la sombra de los dominantes y codominantes, pero recibe luz directa en algún momento) y suprimida (la copa bajo sombra todo el tiempo). La nomenclatura de especies siguió el listado de Molina y Alemañy (1997). El bosque está ubicado en la zona de vida subtropical húmeda de acuerdo al sistema de Holdridge (1967). El sustrato es volcánico donde suelos de la serie Maricao-Los Guineos varían de bien a muy bien drenados (Despiou Batista 1997).

Nuestro estudio consistió en medir entre junio y septiembre del 2005 todos los árboles marcados

en el 1997 por Despiou Batista y cuyos datos originales teníamos disponibles. Aquellos árboles con  $\text{dap} \geq 4$ cm sin etiqueta o récord en los datos del 1997 se consideraron nuevos reclutas al rodal (*ingrowth*). Los árboles desaparecidos del rodal se consideraron muertos. Además, examinamos la condición de cada árbol para determinar los efectos residuales del paso del huracán Georges. Contamos tallos partidos y árboles inclinados al igual que árboles muertos en pie.

Los datos se utilizaron para calcular los siguientes índices estructurales:

- Área basal de un árbol =  $\pi r^2$  donde  $r = \text{dap}/2$ .
- Área basal de una parcela o rodal = suma de las áreas basales de todos los árboles de la parcela o rodal/área de la parcela o rodal.
- Área basal de una especie = suma de las áreas basales de todos los árboles de la especie/área muestreada.
- Área basal relativa = área basal de la especie/área basal del rodal o parcela, expresado en por ciento.
- Densidad de árboles = número de árboles/área de muestreo.
- Densidad de árboles de una especie = número de árboles de la especie/área muestreada.
- Densidad relativa de una especie = densidad de árboles de la especie/densidad de árboles del rodal, expresado en por ciento.
- Valor de Importancia (VI) de la especie = suma de área basal relativa y densidad relativa, expresado en por ciento.

Estos índices se calcularon para todo el bosque, para cada especie, para parcelas en distintas posiciones topográficas y para árboles agrupados por tipo de copa. Los índices se calcularon para datos del 1997 y 2005, lo que permitió estimar los cambios que ocurrieron entre esas dos fechas. Además, se construyeron curvas de especies por área de la siguiente manera: se seleccionaron parcelas al azar y se contó el número de especies nuevas que aparecían a medida que se examinaban todas las parcelas. El número de especies acumulativas se relacionó al área cumulativa de las parcelas.

La tasa de mortalidad se estimó dividiendo el número de árboles muertos entre el 1997 y el 2005 por el área de muestreo y el intervalo de tiempo transcurrido. Este cálculo se hizo por parcela y los resultados se expresaron en árboles/ha.año. El porcentaje anual de mortalidad se estimó dividiendo esta tasa de mortalidad entre la densidad inicial de árboles. Las tasas de crecimiento de los árboles identificados en el 1997 y vueltos a medir en el 2005 se estimaron en base al cambio en diámetro, área basal y altura. Estas tasas se estimaron para todos los árboles, por especie, por la posición de la copa y por la posición topográfica. El intervalo de tiempo entre mediciones fue de ocho años.

El crecimiento en diámetro se estimó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{crecimiento en cm/año} = (D_2 - D_1)/(t_2 - t_1)$$

donde D es el dap (cm) en dos fechas consecutivas ( $t_1$  y  $t_2$ ), expresando el intervalo entre mediciones en años.

El crecimiento en área basal se estimó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{crecimiento en cm}^2/\text{año} = (AB_2 - AB_1)/(t_2 - t_1)$$

Donde AB es el área basal ( $\text{cm}^2$ ) en dos fechas consecutivas ( $t_1$  y  $t_2$ ), expresando el intervalo entre mediciones en años. El crecimiento en área basal del bosque se estimó sumando las áreas basales de todos los árboles para las medidas del 1997 y 2005. El crecimiento es igual a la diferencia en área basal del bosque entre el 2005 y 1997 dividida por el intervalo de tiempo entre mediciones. El resultado se expresó en  $\text{m}^2/\text{ha.año}$ .

Para estimar las tasas de crecimiento en altura, utilizamos la siguiente fórmula:

$$\text{crecimiento en m/año} = (A_2 - A_1)/(t_2 - t_1)$$

Donde A es la altura medida en dos intervalos consecutivos ( $t_1$  y  $t_2$ ) expresando el intervalo entre mediciones en años.

Con el programa de Microsoft Excel para MacIntosh versión 11.3.3 se hicieron análisis estadísticos descriptivos y se compararon los promedios con la prueba ANOVA de un factor a  $p \leq .05$ . Cuando la prueba de ANOVA indica diferencias significativas se llevó a cabo la prueba

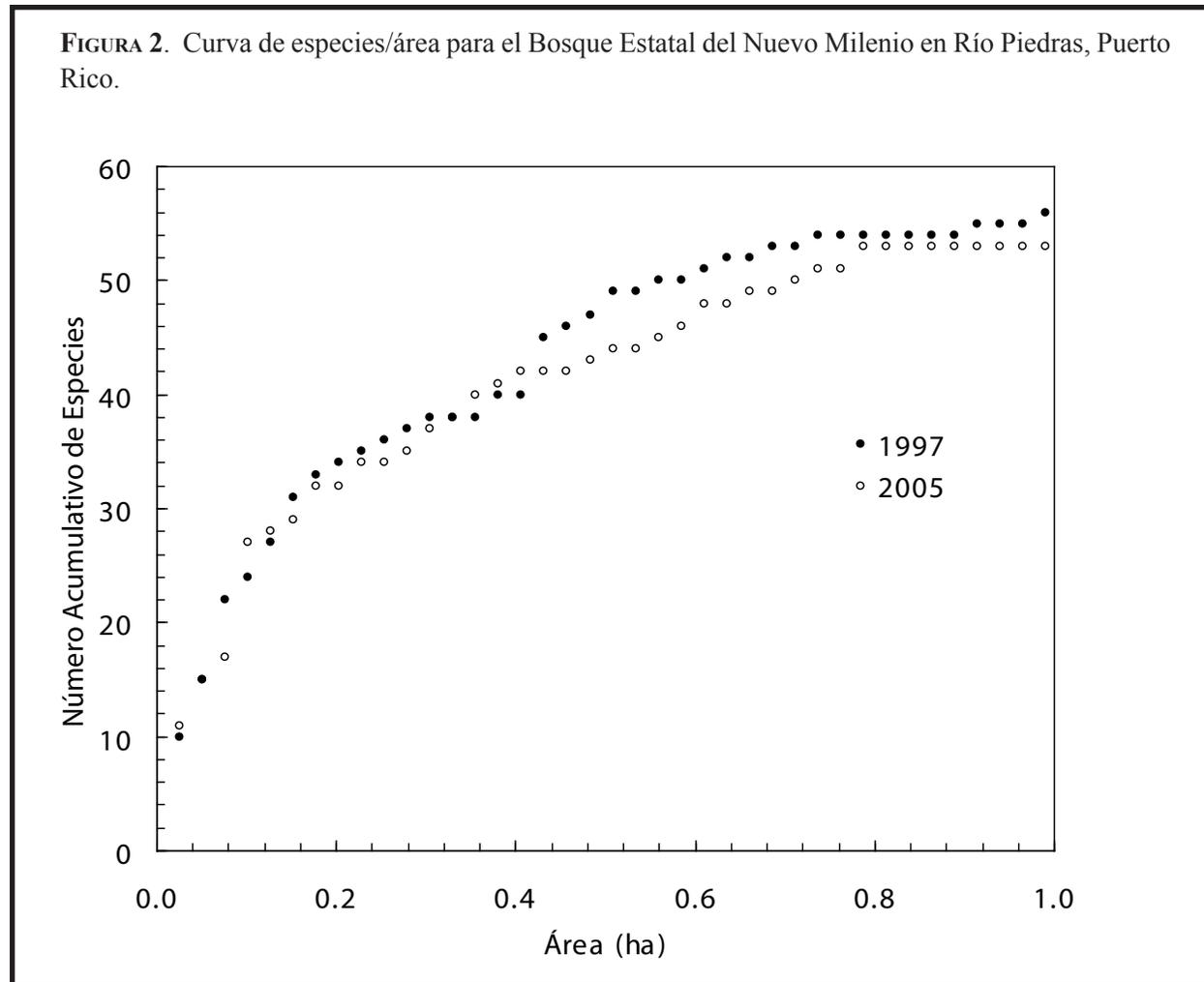
de t asumiendo varianzas no similares y utilizando  $p \leq .05$  para indicar significancia.

## RESULTADOS

### Riqueza y Valor de Importancia de Especies

La curva de especie/área (Fig. 2) se estabilizó con un muestreo de 0.8 ha y refleja entre 53 y 56 especies por ha para el 2005 y 1997, respectivamente. En las posiciones de pendiente y divergencia encontramos más especies arbóreas por unidad de área muestreada que en las posiciones de valle ribereño y convergencia (Tabla 1). En el 2005, el número de especies por parcela (densidad de especies) aumentó, mientras que el número de especies por posición topográfica tendió a disminuir.

Los VI de las especies más importantes (Tabla 1) reflejan valores más altos en el valle ribereño donde la especie más importante fue *S. campanulata* con un VI de 44 por ciento en el 1997. En esa posición encontramos tres especies (*Hura crepitans*, *Terminalia catappa* y *Guarea guidonia*) con VI > 10 por ciento. La posición de convergencia también exhibe alto VI para la especie más importante. Los VI más altos en las posiciones de pendiente y divergencia son más bajos en comparación con los de las posiciones de convergencia y valle ribereño. *Spathodea campanulata* fue la especie más importante en casi todas las posiciones topográficas y en todo el bosque. Las dos excepciones fueron en el 1997 en la posición de divergencia y en el 2005 en la posición de pendiente. *Tabebuia heterophylla* e *Hymenaea courbaril* fueron las especies más importantes, respectivamente, pero *S. campanulata* fue segunda en ambos lugares. Los VI de las especies más importantes disminuyeron en todos los rodales entre el 1997 y 2005 excepto en la posición de convergencia donde se mantuvieron iguales. Para todo el bosque, *S. campanulata* fue la especie con el VI más alto con valores de 32.9 y 26.7 para los años 1997 y 2005 respectivamente. Esos valores bajan a 26.7 y 20.9, respectivamente, si se incluye la frecuencia relativa en el VI. Sin embargo, la posición de *S. campanulata* y el orden de las otras especies no cambian.



**TABLA 1.** Densidad de tallos, área basal, número de especies y Valor de Importancia de la especie dominante en dos fechas de muestreo en el Bosque Estatal del Nuevo Milenio en Río Piedras, Puerto Rico. Los datos corresponden a árboles con diámetro a la altura del pecho  $\geq 4$  cm. El área de muestreo expresada en ha fue 0.2545, 0.2290, 0.2545, 0.2799 y 1.0 para valle ribereño, pendiente, divergencia, convergencia y todo el bosque, respectivamente. Cada parcela tenía un área de 254m<sup>2</sup>. El texto reporta resultados del análisis estadístico de esta tabla.

Posición Topográfica	Densidad (tallos/ha)		Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)		Especies por Parcela		Número de Especies		Valor de Importancia (%)	
	1997	2005	1997	2005	1997	2005	1997	2005	1997	2005
Valle Ribereño	1316	1246	38.1	38.1	6.8	7.1	26	26	44.4	38.3
Pendiente	2208	1819	33.4	26.8	10.6	10.9	34	28	28.6	14.2
Divergencia	2330	1961	25.8	26.8	8.5	9.3	32	33	25.9	21.8
Convergencia	1393	1362	27.4	25.1	7.8	7.4	29	25	37.2	38.9
Todo el bosque	1808	1562	30.8	28.6	-	-	56	53	32.9	26.7

## Estructura del Bosque

La densidad de árboles más alta se midió en el 1997 en la posición topográfica de divergencia seguido por las posiciones de pendiente, convergencia y valle ribereño (Tabla 1). El valle ribereño exhibió el área basal más alta y la posición de divergencia y convergencia las más bajas en el 1997. En el 2005, hubo reducciones en densidad de tallos y área basal en todos los rodales, menos en el valle ribereño que mantuvo su área basal original. Los cambios no fueron significativos.

La clase diamétrica de 5 a 10 cm dap era la clase más común en el bosque en el 1997 y 2005 (Fig. 3a). Con la excepción de la clase de 4 a 5cm, todas las clases diamétricas aumentaron en el 2005 en proporción a los valores en el 1997. En contraste, la distribución de áreas basales fue más uniforme en el bosque (Fig. 3b) con la clase de 30 a 60 cm<sup>2</sup> siendo la más común. Para el 2005, el área basal de los árboles pequeños disminuyó y la de los árboles más grandes aumentó.

Los árboles entre > 4 y 10 m de altura fueron los más comunes en el bosque (Fig. 3c). En el 2005 hubo reducciones significativas en las alturas de los árboles más grandes mientras que los árboles entre >2 y 6 m aumentaron en abundancia. Las tendencias en la distribución de diámetro, área basal y altura (Fig. 3) se reflejan en las estadísticas descriptivas para todos los árboles combinados (Tabla 2). La moda y la media reflejan la preponderancia de árboles de poco tamaño relativo al promedio del bosque y la alta amplitud en el tamaño de los árboles medidos. Esa amplitud de valores se refleja también cuando los árboles se clasifican de acuerdo a la ubicación de su copa (Fig. 4). Se observa una relación lineal negativa y significativa en el dap (Fig. 4a), área basal (Fig. 4b) y altura (Fig. 4c) de los árboles con la ubicación de la copa. Los árboles más grandes son los dominantes, seguidos en orden por los codominantes, intermedios y suprimidos. Aunque las diferencias entre los cuatro grupos de copa es significativa, las diferencias entre el 1997 y 2005 no lo fueron, excepto en los árboles suprimidos con dimensiones más pequeñas en el 2005. Los cambios entre el 1997 y 2005 en las dimensiones promedio, media y moda de todos los árboles combinados (Tabla 2) reflejaron pérdidas en

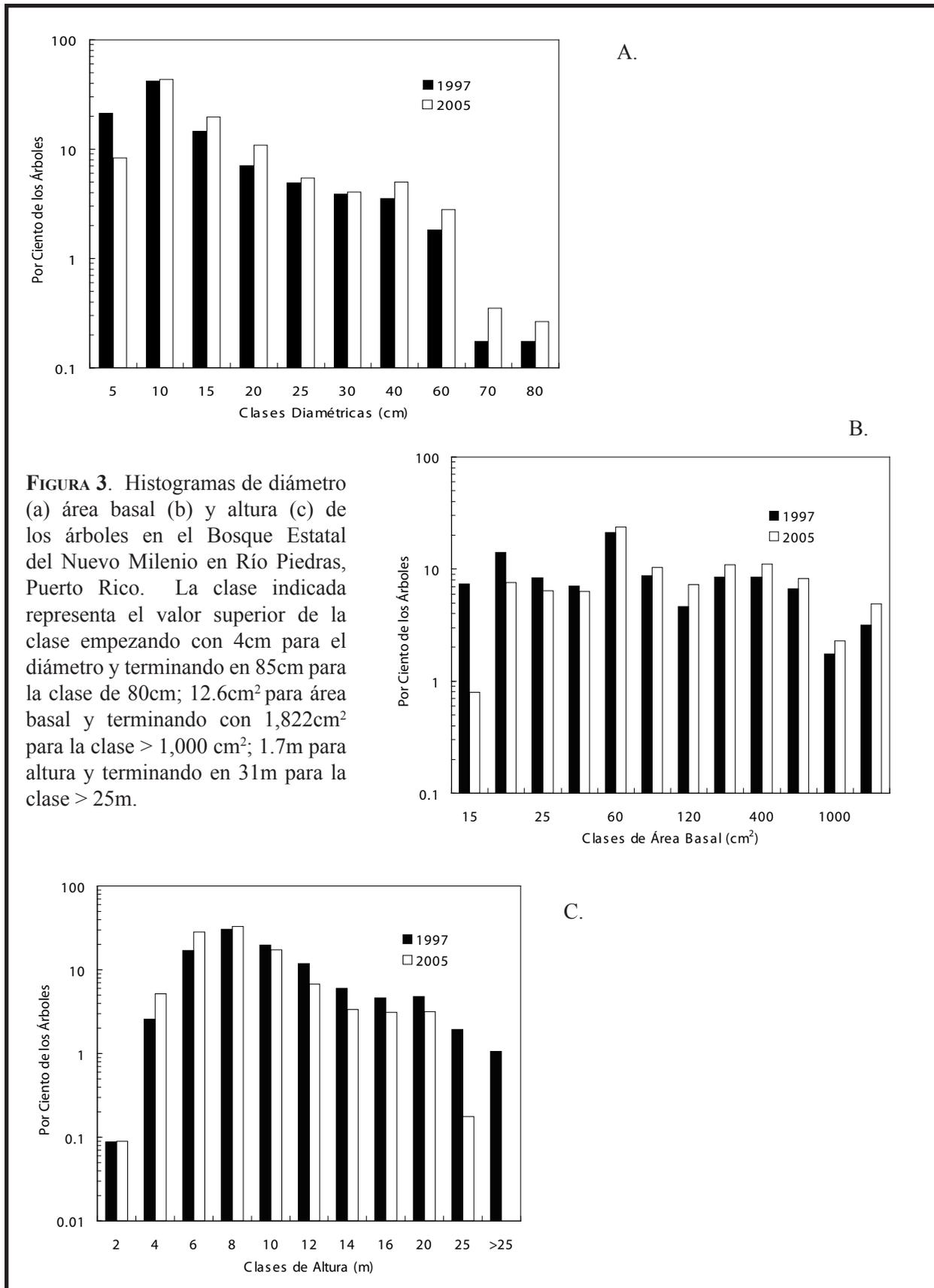
altura y poco (promedio y media) o ningún (moda) crecimiento en diámetro y área basal.

## Mortalidad, Árboles Muertos en Pie y Reclutamiento de Árboles

La tasa de mortalidad varió entre 40 y 110 árboles/ha.año y fue mayor en la posición de divergencia (Fig. 5). Al expresar los datos de mortalidad en porciento de árboles vivos en el 1997, encontramos una mortalidad de 3.8 para todo el bosque y 3.7, 3.2, 4.6, 3.2 y 3.8 para las posiciones de valle ribereño, pendiente, divergencia y convergencia respectivamente. Si la mortalidad se expresa en porciento de área basal por año, el valor para todo el bosque fue de 3.6 y 3.9, 2.8, 3.4, y 4.1 para las posiciones de valle ribereño, pendiente, divergencia y convergencia respectivamente. Las tasas de reclutamiento fueron menores a la mortalidad en términos absolutos, pero sólo fueron significativamente distintas a la tasa de mortalidad en la posición de divergencia (Fig. 5).

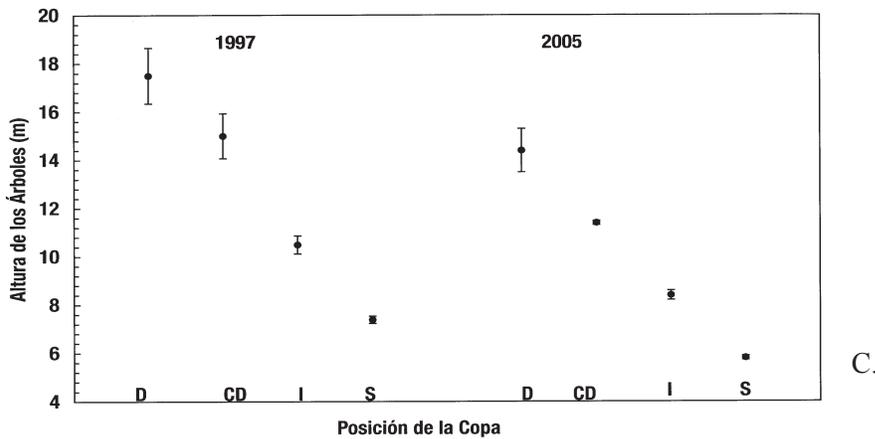
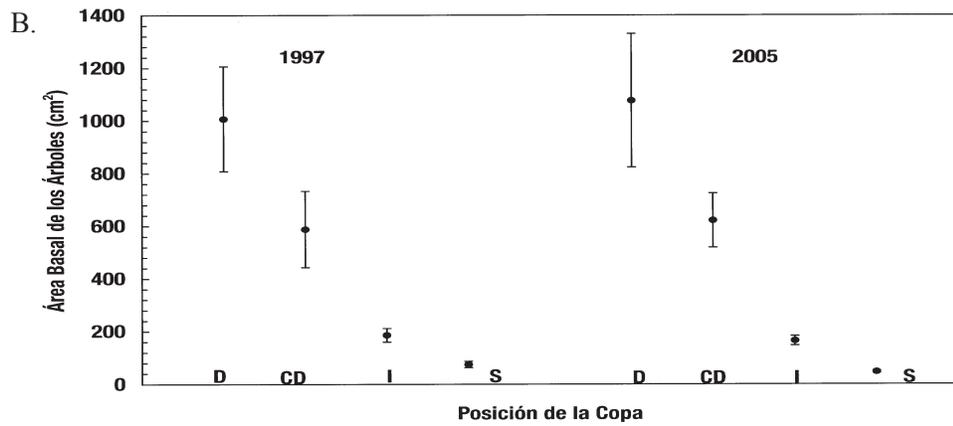
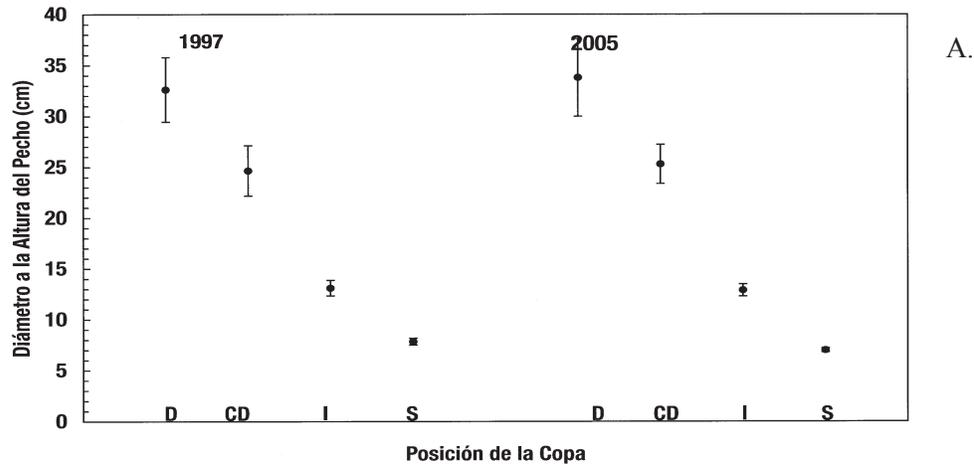
Los árboles muertos en pie en el 2005 eran (en promedio) de 10.2cm de dap, 8.2m de altura y una densidad de 550 tallos/ha correspondiente a un área basal de 8.9 m<sup>2</sup>/ha (Tabla 3). La mayor parte de estos árboles eran árboles suprimidos, que a pesar de ser pequeños, tenían una alta densidad de tallos. Estos árboles suprimidos se encontraban principalmente en las posiciones de divergencia y pendiente. Los árboles muertos más grandes se encontraron en las posiciones de valle ribereño y convergencia. Identificamos 37 especies con individuos muertos en pie y de esas, 15 tenían más de 5 individuos muertos en pie (Tabla 3). Las especies con mayor número de árboles muertos en pie fueron *S. campanulata* y *T. heterophylla*, aunque los árboles más grandes correspondieron a *T. catappa*.

Los árboles que ingresaron a la clase diamétrica  $\geq 4$  cm entre el 1997 y 2005 tenían en promedio un dap de 6.5 cm, altura de 6 m y una densidad de 398 tallos/ha correspondiente a un área basal de 1.6 m<sup>2</sup>/ha (Tabla 4). La mayor parte de estos árboles aún no habían llegado al dosel del bosque y sus copas estaban suprimidas. Predominan en las posiciones de pendiente y divergencia. Encontramos 34 especies con individuos que ingresaron al rodal



**FIGURA 3.** Histogramas de diámetro (a) área basal (b) y altura (c) de los árboles en el Bosque Estatal del Nuevo Milenio en Río Piedras, Puerto Rico. La clase indicada representa el valor superior de la clase empezando con 4cm para el diámetro y terminando en 85cm para la clase de 80cm; 12.6cm<sup>2</sup> para área basal y terminando con 1,822cm<sup>2</sup> para la clase > 1,000 cm<sup>2</sup>; 1.7m para altura y terminando en 31m para la clase > 25m.

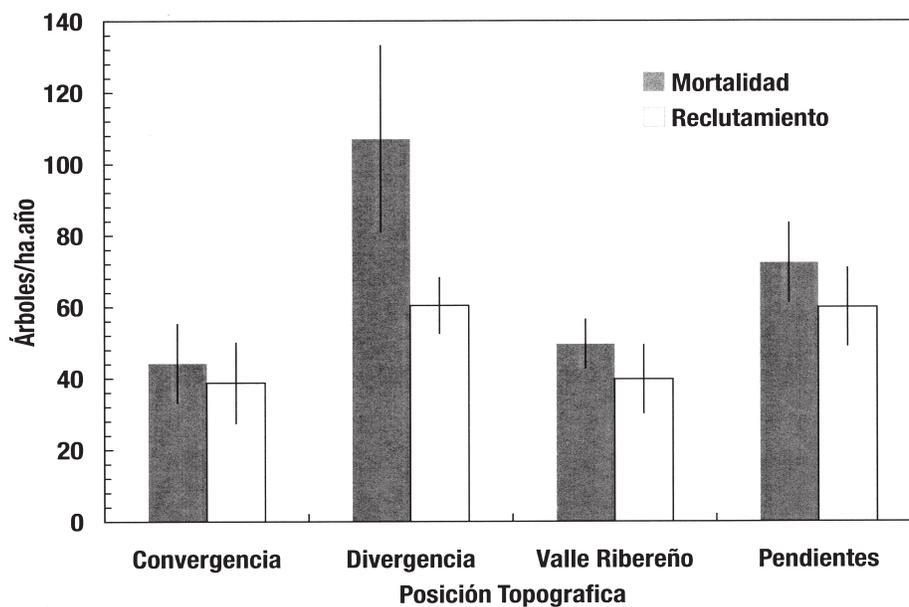
FIGURA 4. Diámetro a la altura del pecho (a), área basal (b) y altura (c) de árboles dominantes (D), codominantes (CD), intermedios (I) y suprimidos (S) en el Bosque Estatal del Nuevo Milenio en Río Piedras, Puerto Rico. Se presenta el promedio y el correspondiente nivel de confianza (95 por ciento). El diámetro mínimo de medición fue de 4 cm.



**TABLA 2.** Promedio, media y moda del diámetro a la altura del pecho (dap), área basal (AB), altura y sus respectivas tasas de crecimiento anual e indicadores estadísticos para los árboles vivos en el Bosque Estatal del Nuevo Milenio en Río Piedras, Puerto Rico. Algunos valores fueron redondeados.

Parámetro estadístico	Dimensiones de los Árboles						Crecimiento		
	Dap (cm)		AB (cm <sup>2</sup> )		Altura (m)		Dap (cm)	AB (cm <sup>2</sup> )	Altura (m)
	1997	2005	1997	2005	1997	2005			
Promedio	11.4	13.6	176.5	234.8	9.2	8.1	0.27	7.3	-0.15
Error estándar	0.3	0.3	11.4	13.8	0.1	0.1	0.01	0.7	0.01
Media	7.7	9.7	46.5	73.9	8	7	0.14	1.8	-0.12
Moda	4.9	6.3	13.8	31.2	7	7	0	0	-0.13
Amplitud de los valores	78	81	5305	5659	29	20	8.2	590	4
Tamaño de la muestra (n)	1139	1139	1139	1139	1131	1130	1139	1139	1125
Valor más alto	82.3	85	5317	5672	30.7	22	6.6	527	2.5
Valor más bajo	4	4	12.6	12.6	1.7	2	-1.6	-63.0	-1.9
Coefficiente de Variación (%)	84	79	218	198	47	40	165	306	257
Nivel de confianza (95.0%)	0.56	0.62	22.3	27.0	0.3	0.19	0.03	1.3	0.02

**FIGURA 5.** Tasas promedio de mortalidad y reclutamiento de acuerdo a la posición topográfica en el Bosque Estatal del Nuevo Milenio en Río Piedras, Puerto Rico. Las líneas verticales representan el error estándar y el tamaño de la muestra fue: 9 para la topografía de convergencia y 10 para las otras tres.



entre el 1997 y el 2005. De esos, 16 tenían más de 5 individuos (Tabla 4). *Hura crepitans* e *H. courbaril* fueron las especies con los árboles más grandes con copas intermedias, mientras que *S. campanulata* y *Guarea guidonia* tenían las densidades mayores.

### Efectos del Huracán

No encontramos árboles partidos o inclinados o con otro efecto del huracán en 21 de las 40 parcelas que se muestrearon. Para las parcelas donde se observaron efectos del huracán, la mayoría de los árboles impactados estaban partidos (Tabla 5). Los árboles afectados por el huracán eran árboles grandes en término del dap y la altura (Tabla 6).

### Crecimiento de Árboles

Las tasas de crecimiento promedio en diámetro y área basal (Tabla 7) fueron más altas en los árboles dominantes, seguido por los codominantes. Los árboles en el valle ribereño crecieron más rápido que los árboles en todas las otras posiciones topográficas. Las tasas de crecimiento en diámetro y área basal más frecuentes fueron los árboles que no crecieron o crecieron muy poco (Fig. 6 a y b). Sin embargo, alrededor del 15 por ciento de los árboles exhibieron tasas de crecimiento altas (0.5 a 6.6cm/año y 10 a 527 cm<sup>2</sup>/año).

No importa cómo se estimara el promedio de crecimiento, la mayoría de los estimados para el cambio en altura fueron negativos con los valores más negativos en el valle ribereño y los árboles con copas dominantes (Tabla 7). Cincuenta y tres por ciento de los árboles perdieron altura, 15.5 por ciento no cambiaron en altura y el resto exhibió un aumento en altura entre el 1997 y 2005 (Fig. 6c). Una minoría de los árboles (8.4 por ciento) crecieron a una tasa de sobre 0.5 m/año.

El crecimiento en diámetro y área basal por especie reflejó una variación de hasta tres órdenes de magnitud (Fig. 6 a y b) con *Albizia procera* y *T. catappa* exhibiendo las tasas de crecimiento más altas. Sin embargo, el crecimiento en altura por especie tuvo menos variación, con la mayoría de las especies perdiendo altura o quedando igual (Fig. 7 c). Entre las cuatro especies más importantes del bosque, se observó más variación de crecimiento

en diámetro y área basal en los árboles con copas dominantes y codominantes comparado con los árboles con copas intermedias y suprimidas (Fig. 8). *Guarea guidonia* y *S. campanulata* exhibieron las tasas de crecimiento más altas entre las copas dominantes y codominantes tanto en términos de crecimiento en diámetro como en área basal (Fig. 8 a y b). *Tabebuia heterophylla* creció a tasas más bajas en todas las posiciones de copa, mientras que *Casearia guianensis* exhibió tasas de crecimiento intermedias entre las cuatro especies. La pérdida de altura en las especies con copas dominantes y codominantes exhibió una alta variabilidad, mientras que las copas suprimidas exhibieron la variabilidad menor en la pérdida de altura (Fig. 8 c). *Casearia guianensis* tuvo un leve aumento en altura y poca variabilidad en sus árboles dominantes.

## DISCUSIÓN

En su estudio del Bosque Estatal del Nuevo Milenio Despiau Batista (1997) concluyó que la distribución de especies en el bosque no estaba influenciada por la posición topográfica. El basó su conclusión en los altos índices de similitud de Sørensen. Por ejemplo, entre pendiente y divergencia la similitud fue de 75 por ciento, entre pendiente y convergencia 70 por ciento, entre convergencia y valle ribereño 67 por ciento, entre convergencia y divergencia 64 por ciento y entre valle ribereño y divergencia 53 por ciento. Un análisis de varianza (ANOVA) indicó que el índice de diversidad de Shannon-Weiner tampoco reflejaba diferencias entre distintas posiciones topográficas en el bosque, aunque el índice de Morisita reflejó que las especies estaban agrupadas por posición topográfica con índices altos para especies en la posición de pendiente. A pesar de variaciones en el número de especies por posición topográfica, Despiau Batista sugirió que el historial de uso agrícola de terrenos es responsable por los altos índices de similitud florística ya que el bosque aún se encontraba en sucesión activa luego del abandono en los usos agrícolas. Eso explica por ejemplo, el alto VI de *S. campanulata*.

A nuestro juicio, la conclusión de Despiau Batista no aplica a la diferenciación florística entre rodales en valle ribereño y pendiente, donde el

**TABLA 3.** Características de los árboles muertos en pie en el Bosque Estatal del Nuevo Milenio en Río Piedras Puerto Rico. Los datos corresponden al 2005 para árboles con diámetro a la altura al nivel del pecho (dap)  $\geq$  4cm. El error estándar del promedio está en paréntesis y n es el tamaño de la muestra. El área basal es AB. Valores no suman al total del bosque debido al redondeo, porque las copas de cinco árboles no fueron clasificadas, porque sólo se reportan especies con 5 o más árboles muertos o porque los datos de posición topográfica se basan en el área de la posición topográfica particular y el resto en el área total de muestreo. Los datos de las especies se presentan en orden descendiente del diámetro de los árboles.

Categoría	Por Árbol				Por Área	
	Dap (cm)	AB (cm <sup>2</sup> )	Altura (m)	n	Densidad (tallos/ha)	AB (m <sup>2</sup> /ha)
Todo el bosque	10.2 (0.4)	161 (20)	8.2 (0.2)	560	550	8.9
	Posición de la Copa					
Dominante	30.0 (3.0)	840 (150)	16.7 (1.1)	20	20	1.7
Codominante	29.3 (4.3)	935 (300)	16.4 (1.1)	19	19	1.7
Intermedio	11.7 (0.8)	166 (34)	10.0 (0.4)	105	103	1.7
Suprimido	7.6 (0.3)	76 (14)	6.9 (0.1)	411	403	3.1
	Posición Topográfica					
Valle ribereño	13.7 (1.4)	300 (72)	9.1 (0.5)	100	393	11.8
Pendiente	9.6 (0.7)	135 (29)	7.7 (0.3)	159	568	7.6
Divergencia	8.4 (0.4)	83 (11)	7.7 (0.2)	219	860	7.1
Convergencia	11.8 (1.5)	253 (77)	9.1 (0.6)	82	358	9.0
	Especies					
<i>Terminalia catappa</i> *	23.5 (8.3)	708 (476)	15.4 (3.3)	6	6	0.4
<i>Spathodea campanulata</i> *	16.1 (1.2)	334 (48)	10.5 (0.5)	120	119	3.9
<i>Hura crepitans</i>	15.4 (4.7)	449 (323)	8.3 (0.9)	16	16	0.7
<i>Schefflera morototoni</i>	13.5 (1.5)	191 (42)	12.1 (0.8)	30	29	0.6
<i>Swietenia macrophylla</i> *	11.5 (3.4)	160 (95)	10.4 (2.6)	7	7	0.1
<i>Albizia procera</i> *	11.3 (3.4)	155 (98)	10.5 (1.0)	7	7	0.1
<i>Ocotea leucoxydon</i>	10.8 (5.0)	363 (333)	6.3 (0.5)	15	15	0.5
<i>Eugenia jambos</i> *	8.5 (1.2)	83 (29)	5.9 (0.4)	23	23	0.2
<i>Tabebuia heterophylla</i>	7.9 (0.5)	74 (22)	7.7 (0.2)	140	138	1.0
<i>Inga laurina</i>	7.3 (1.1)	48 (15)	6.7 (0.8)	7	7	0.0
<i>Guarea guidonia</i>	7.1 (1.0)	61 (27)	5.9 (0.4)	26	26	0.2
<i>Foramea occidentalis</i>	5.7 (0.4)	26 (3)	7.0 (0.6)	6	6	0.0
<i>Casearia sylvestris</i>	5.6 (0.2)	26 (2)	6.1 (0.2)	62	61	0.2
<i>Casearia guianensis</i>	5.6 (0.2)	26 (2)	6.7 (0.3)	47	46	0.1
<i>Casearia decandra</i>	4.6 (0.4)	17 (3)	6.5 (0.9)	5	5	0.0

\*Especie introducida

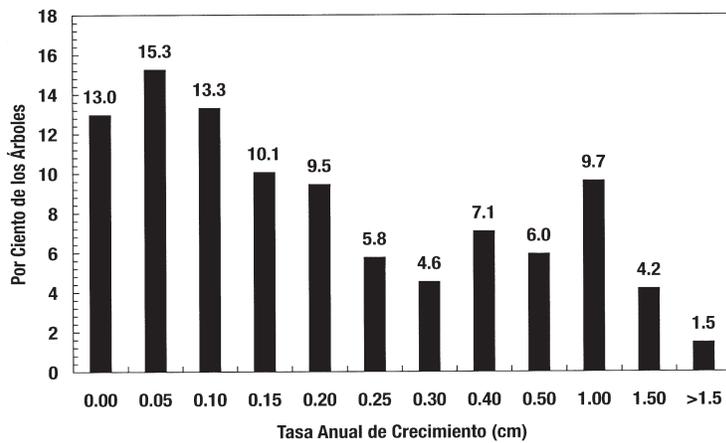
**TABLA 4.** Características de los árboles que para el 2005 ingresaron a la clase diamétrica a la altura del pecho (dap)  $\geq$  4cm en el Bosque Estatal del Nuevo Milenio en Río Piedras, Puerto Rico. El error estándar del promedio está en paréntesis y n es el tamaño de la muestra. El área basal es AB. Valores no suman al total del bosque debido al redondeo, porque las copas de cinco árboles no fueron clasificadas, porque sólo se reportan especies con 5 o más árboles nuevos o porque los datos de posición topográfica se basan en el área de la posición topográfica particular y el resto en el área total de muestreo.

Categoría	Por Árbol			Por Área		
	Dap (cm)	AB (cm <sup>2</sup> )	Altura (m)	n	Densidad (tallos/ha)	AB (m <sup>2</sup> /ha)
Todo el bosque	6.5 (0.2)	41 (3)	6.0 (0.1)	405	398	1.6
	Posición Topográfica					
Valle ribereño	7.0 (0.3)	44 (5)	5.8 (0.2)	81	318	1.4
Pendiente	6.5 (0.4)	48 (9)	6.0 (0.1)	129	461	2.2
Divergencia	6.2 (0.2)		5.8 (0.1)	124	487	1.7
Convergencia	6.6 (0.3)		6.3 (0.2)	71	310	1.2
	Especies					
<i>Hura crepitans</i>	10.6 (1.9)	119 (40)	6.5 (0.6)	12	12	0.1
<i>Hymenaea courbaril</i>	8.8 (3.2)	118 (92)	7.2 (0.5)	8	8	0.1
<i>Spathodea campanulata*</i>	7.6 (0.5)	56 (10)	6.0 (0.2)	69	68	0.4
<i>Phoebe elongata</i>	7.4 (1.1)	47 (14)	6.9 (0.7)	5	5	0.0
<i>Schefflera morototoni</i>	7.3 (0.7)	46 (9)	6.7 (0.4)	12	12	0.1
<i>Guarea guidonia</i>	6.8 (0.4)	42 (6)	6.1 (0.2)	54	53	0.2
<i>Inga fagifolia</i>	6.7 (0.9)	43 (15)	5.8 (0.4)	15	15	0.1
<i>Myrcia splendens</i>	6.3 (0.9)	34 (9)	5.9 (0.2)	5	5	0.0
<i>Eugenia jambos*</i>	6.2 (0.5)	36 (6)	5.9 (0.2)	31	30	0.1
<i>Swietenia macrophylla*</i>	5.8 (0.7)	30 (10)	5.5 (0.1)	10	10	0.0
<i>Chrysalidocarpus lutescens</i>	5.7 (0.2)	26 (2)	4.8 (0.2)	13	13	0.0
<i>Ocotea leucoxyton</i>	5.4 (0.1)	23 (1)	5.5 (0.1)	50	49	0.1
<i>Casearia sylvestris</i>	5.2 (0.4)	21 (4)	5.0 (0.5)	6	6	0.0
<i>Casearia guianensis</i>	5.2 (0.1)	22 (1)	5.8 (0.1)	50	49	0.1
<i>Faramea occidentalis</i>	5.1 (0.1)	21 (1)	5.8 (0.5)	25	25	0.1
<i>Chrysophyllum argenteum</i>	4.9 (0.2)	19 (1)	6.1 (0.4)	7	7	0.0

\*Los datos de las especies se presentan en orden descendiente del diámetro de los árboles.

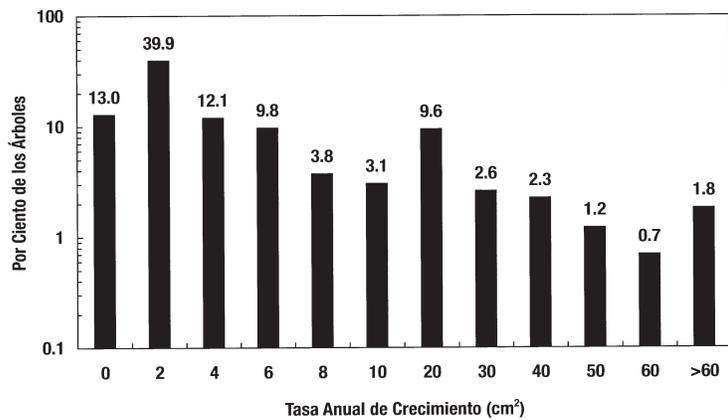
**TABLA 5.** Densidad promedio (árboles/ha) y sus indicadores estadísticos de variación para árboles con efectos visibles del huracán Georges en el Bosque Estatal del Nuevo Milenio en Río Piedras, Puerto Rico. Los datos están basados en 19 de 40 parcelas en el bosque, se coleccionaron en el 2005 e incluyen árboles con diámetro a la altura del pecho  $\geq$  4cm.

	Partidos	Inclinados	Algún Otro Daño	Total Afectados
Promedio	108	33	4	145
Error estándar	18	11	3	21
Media	79	0	0	118
Moda	39	0	0	79
Amplitud de los valores	315	157	39	276
Valor más bajo	0	0	0	39
Valor más alto	315	157	39	315
Nivel de confianza (95.0%)	38	23	6	44

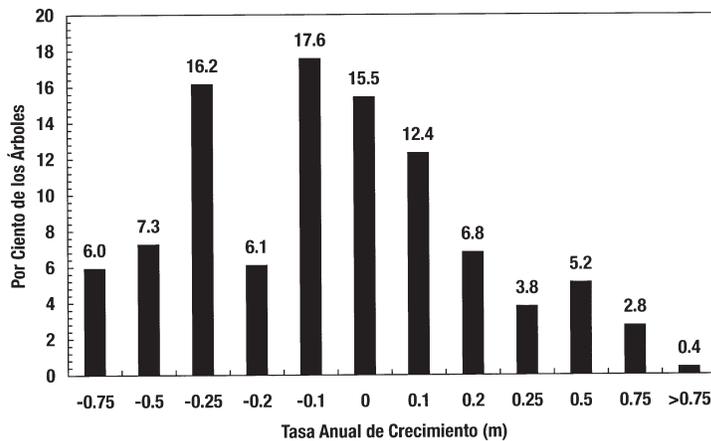


A.

FIGURA 6. Histograma de las tasas de crecimiento anual en término de diámetro (a), área basal (b) y altura (c) en el Bosque Estatal del Nuevo Milenio en Río Piedras, Puerto Rico. La clase indicada representa el valor superior de la clase empezando con -1.6 cm/año para el diámetro y terminando en 6.6cm/año para la clase > 1.5cm/año; -63cm<sup>2</sup> para área basal y terminando con 527cm<sup>2</sup> para la clase > 60cm<sup>2</sup>; y -1.9m/año para altura y terminando en 2.5m/año para la clase > 0.75m/año. El diámetro mínimo de medición fue de 4cm.



B.



C.

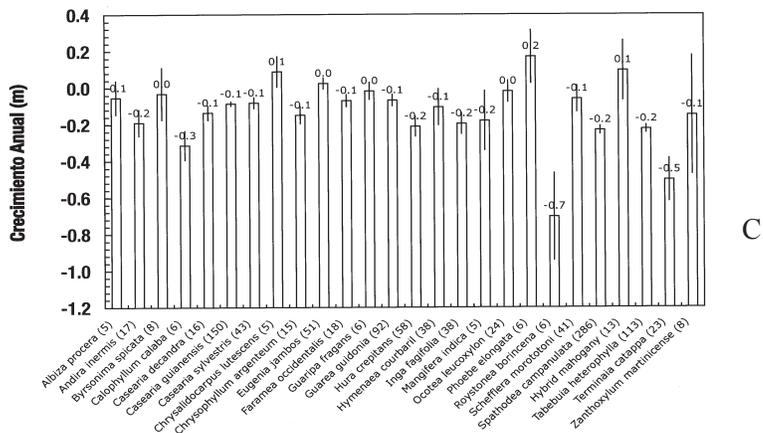
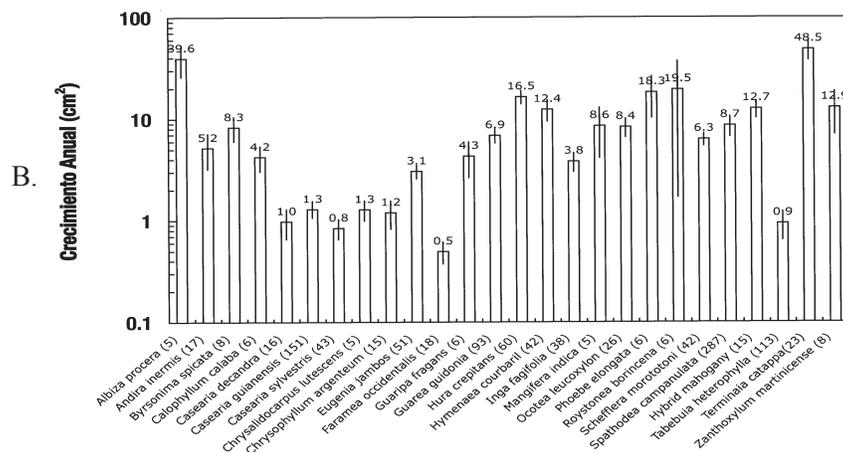
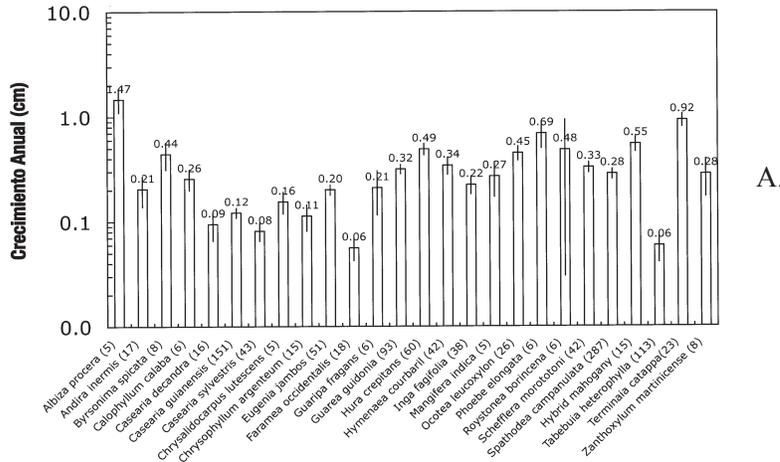
**TABLA 6.** Características de los árboles afectados por el huracán Georges en el Bosque Estatal Nuevo Milenio en Río Piedras, Puerto Rico. Los datos están basados en el número de parcelas (n) donde se observaron los efectos.

	<b>Partidos</b>	<b>Inclinados</b>	<b>Algún Otro Daño</b>
	Diámetro a la Altura del Pecho (cm)		
Promedio	16.4	17.5	20.5
Error estándar	2.2	3.1	9.5
Media	17.5	19.7	20.5
Amplitud de los valores	35.6	27.1	18.9
Valor más bajo	6.1	6.4	11
Valor más alto	41.7	33.5	29.9
Tamaño de la muestra (n)	17	9	2
Nivel de confianza (95.0%)	4.6	7.2	120.0
	Altura (m)		
Promedio	7.2	9.4	8.5
Error estándar	0.5	2.1	1.5
Media	7.1	8	8.5
Amplitud de los valores	6.5	20.5	3
Valor más bajo	4.5	5.5	7
Valor más alto	11	26	10
Tamaño de la muestra (n)	17	9	2
Nivel de confianza (95.0%)	1.1	4.9	19.1

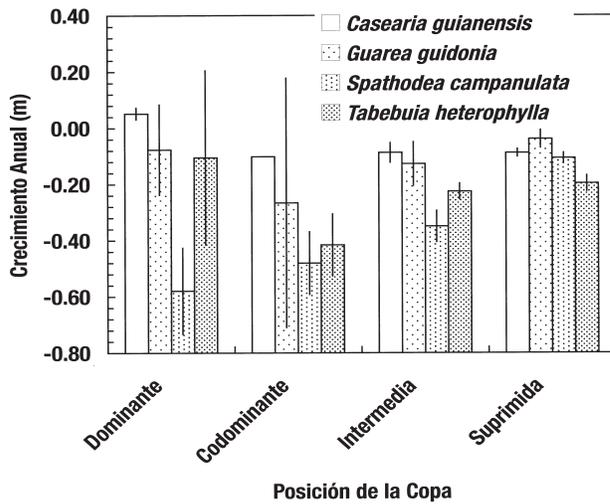
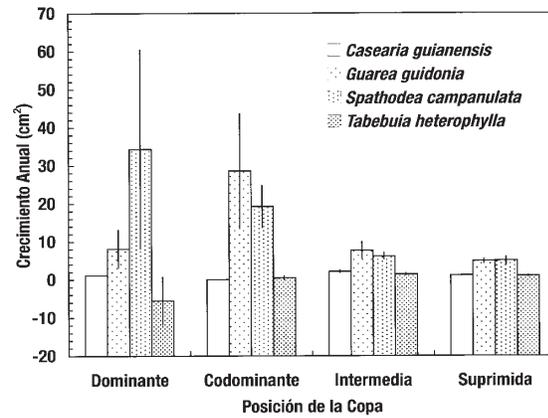
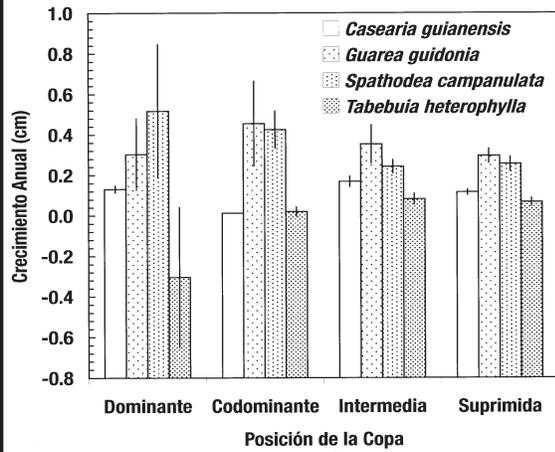
**TABLA 7.** Tasas de crecimiento de los árboles en el Bosque Estatal del Nuevo Milenio en Río Piedras, Puerto Rico. Los resultados se presentan de acuerdo a distintos criterios de análisis. El error estándar, seguido por el número de observaciones, está en paréntesis.

<b>Criterio de Análisis</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Crecimiento Anual Área Basal (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura (m)</b>
	Posición topográfica		
Valle ribereño	0.41 (0.04, 232)	14.3 (2.8, 232)	-0.26 (0.03, 230)
Pendiente	0.20 (0.02, 318)	5.0 (0.8, 318)	-0.05 (0.02, 308)
Divergencia	0.24 (0.02, 352)	5.4 (0.6, 352)	-0.12 (0.02, 351)
Convergencia	0.25 (0.02, 237)	6.3 (0.8, 237)	-0.21 (0.03, 236)
	Posición de la Copa		
Dominante	0.48 (0.12, 60)	29.0 (9.1, 60)	-0.43 (0.08, 58)
Codominante	0.36 (0.05, 292)	16.5 (2.9, 67)	-0.35 (0.08, 64)
Intermedia	0.30 (0.02, 712)	8.3 (1.0, 292)	-0.21 (0.03, 289)
Suprimida	0.22 (0.01, 712)	3.9 (0.4, 712)	-0.08 (0.01, 712)
	Por Parcela		
Parcelas	0.30 (0.02, 39)	8.4 (1.0, 39)	-0.15 (0.03, 39)
	Todos los Árboles		
Todos los árboles	0.27 (0.01, 1139)	7.3 (0.7, 1139)	-0.15 (0.01, 1125)

FIGURA 7. Crecimiento anual en diámetro (a), área basal (b) y altura (c) para especies arbóreas en el Bosque Estatal del Nuevo Milenio en Río Piedras, Puerto Rico. Las líneas verticales corresponden al error estándar del promedio y el número de individuos esta en paréntesis después del nombre de la especie. El diámetro mínimo de medición fue de 4cm. La caoba híbrida es *Swietenia macrophylla* x *S. mahagoni*.



**FIGURA 8.** Crecimiento anual en diámetro (a), área basal (b) y altura (c) para cuatro especies arbóreas de acuerdo a la posición de sus copas en el Bosque Estatal del Nuevo Milenio en Río Piedras, Puerto Rico. Las líneas verticales corresponden al error estándar del promedio. El número de observaciones en el orden dominante, codominante, intermedia y suprimida es: *Casearia guianensis*: 2, 5, 19, 129; *Guarea guidonia*: 4, 5, 18, 66; *Spathodea campanulata*: 20, 22, 71, 171; *Tabebuia heterophylla*: 3, 10, 43, 57. El diámetro mínimo de medición fue de 4 cm.



índice de Sørensen fue de sólo 27 por ciento. Más aún, el análisis de Despiou Batista no incluyó otros aspectos de la estructura del bosque que enfocamos aquí. Primero exploramos la influencia de la topografía sobre la estructura y densidad de especies del bosque, luego discutimos los cambios en estructura y crecimiento atribuibles al huracán Georges y finalmente comparamos el Bosque Estatal del Nuevo Milenio con otros bosques en Puerto Rico.

### Variación Estructural del Bosque

La posición topográfica tiene influencia sobre la densidad de árboles y especies en el Bosque del Nuevo Milenio ya que encontramos diferencias significativas en densidad de árboles y número de especies por parcela entre algunas posiciones topográficas durante los muestreos del 1997 y 2005 (Tabla 1). Por ejemplo, las diferencias en densidad de árboles entre el valle ribereño y divergencia ( $p = .02$ ), valle ribereño y pendiente ( $p = .01$ ) y convergencia y pendiente ( $p = .05$ ), fueron significativas al mismo nivel de  $p$  tanto en el 1997 y como en el 2005. Las diferencias en el número de especies por parcela fueron significativas en el 1997 entre pendiente y divergencia ( $p = .00$ ) y pendiente y valle ribereño ( $p = .00$ ). En el 2005 las diferencias significativas fueron entre pendiente y convergencia ( $p = .00$ ) y pendiente y valle ribereño ( $p = .00$ ).

Aparentemente las posiciones de pendiente y divergencia son similares entre si, como lo son las posiciones de convergencia y valle ribereño. Esto se explica por las condiciones hídricas más favorables en las zonas bajas de los valles y de convergencia. Estas posiciones topográficas tienen los árboles más grandes, densidades arbóreas más bajas, menos especies por unidad de área y VI más altos para las especies dominantes. Por otro lado, las posiciones de divergencia y pendiente están más expuestas a los efectos del huracán como veremos adelante.

### Efectos del y Respuestas al Huracán Georges

Siete años después del paso del huracán Georges, el bosque reflejaba efectos del evento, pero la magnitud del efecto no fue muy grande

sobre el bosque en general. Por ejemplo, en el 53 por ciento de las parcelas los árboles no reflejaban efectos estructurales del huracán. Sin embargo, en algunas posiciones topográficas los efectos del huracán fueron mayores que en otras (Tabla 3). La acción del viento impactó diferencialmente las dos posiciones topográficas más expuestas (divergencia y pendiente) y causó menos impacto en las posiciones topográficas más protegidas (convergencia y valle ribereño). Encontramos densidades más altas de árboles muertos en pie en las posiciones de pendiente y divergencia que en valle ribereño y convergencia (Tabla 3). La mortalidad en la posición de divergencia no fue distinta a la mortalidad en pendiente (Fig. 5) pero si a la mortalidad en la posición de convergencia ( $p = .02$ ). La mortalidad en las pendientes fue distinta a la mortalidad en el valle ribereño ( $p = .05$ ). Al expresar la mortalidad por área basal, los valores más altos fueron en las posiciones de convergencia (4.1 por ciento anual) y valle ribereño (3.9 por ciento anual), reflejando la mortalidad de árboles más grandes que en la posición de divergencia (2.8 por ciento anual). En la posición de divergencia la mortalidad llegó al 4.6 por ciento anual (Fig. 4), lo que refleja el efecto de un disturbio ya que mortalidades de alrededor 5 por ciento están en el umbral de mortalidades altas por disturbios (Lugo y Scatena 1996). Por ejemplo, la mortalidad en un rodal cercano a nuestras parcelas exhibió una mortalidad de 2.3 por ciento anual durante un periodo de 32 años (1943-1975) sin huracanes (Weaver y Nieves 1978). Sin embargo, como discutimos a continuación hay dos causas de mortalidad que afectan nuestros resultados y es difícil diferenciarlas.

Independientemente de la posición topográfica, encontramos más árboles pequeños muertos en pie que árboles grandes muertos en pie (Tabla 3). Esto se debe a dos causas de mortalidad. Los árboles pequeños mueren durante un huracán cuando árboles y ramas más grandes caen sobre ellos. Sin embargo, como la mortalidad no se midió inmediatamente después del huracán, surge como causa de mortalidad de árboles pequeños el entresaque natural de la regeneración que ocurrió después del huracán. Es decir, árboles que crecieron cuando se abrió el dosel a causa del huracán, pero cuyas copas no progresaron a posiciones intermedias o codominantes y como

consecuencia murieron por falta de luz cuando se cerró el dosel. Este argumento se le puede atribuir a los árboles suprimidos y quizás algunos de los intermedios en la Tabla 3, pero no a los dominantes y codominantes. Al examinar el dap promedio de los árboles muertos en pie categorizados por posición topográfica y entre las primeras siete especies en la tabla, encontramos que son árboles más grandes que los suprimidos (Tabla 3, Fig. 9). Por lo tanto, se puede inferir que la mortalidad de árboles grandes mayormente es atribuible a los vientos del huracán y la de los árboles suprimidos al entresaque natural del rodal.

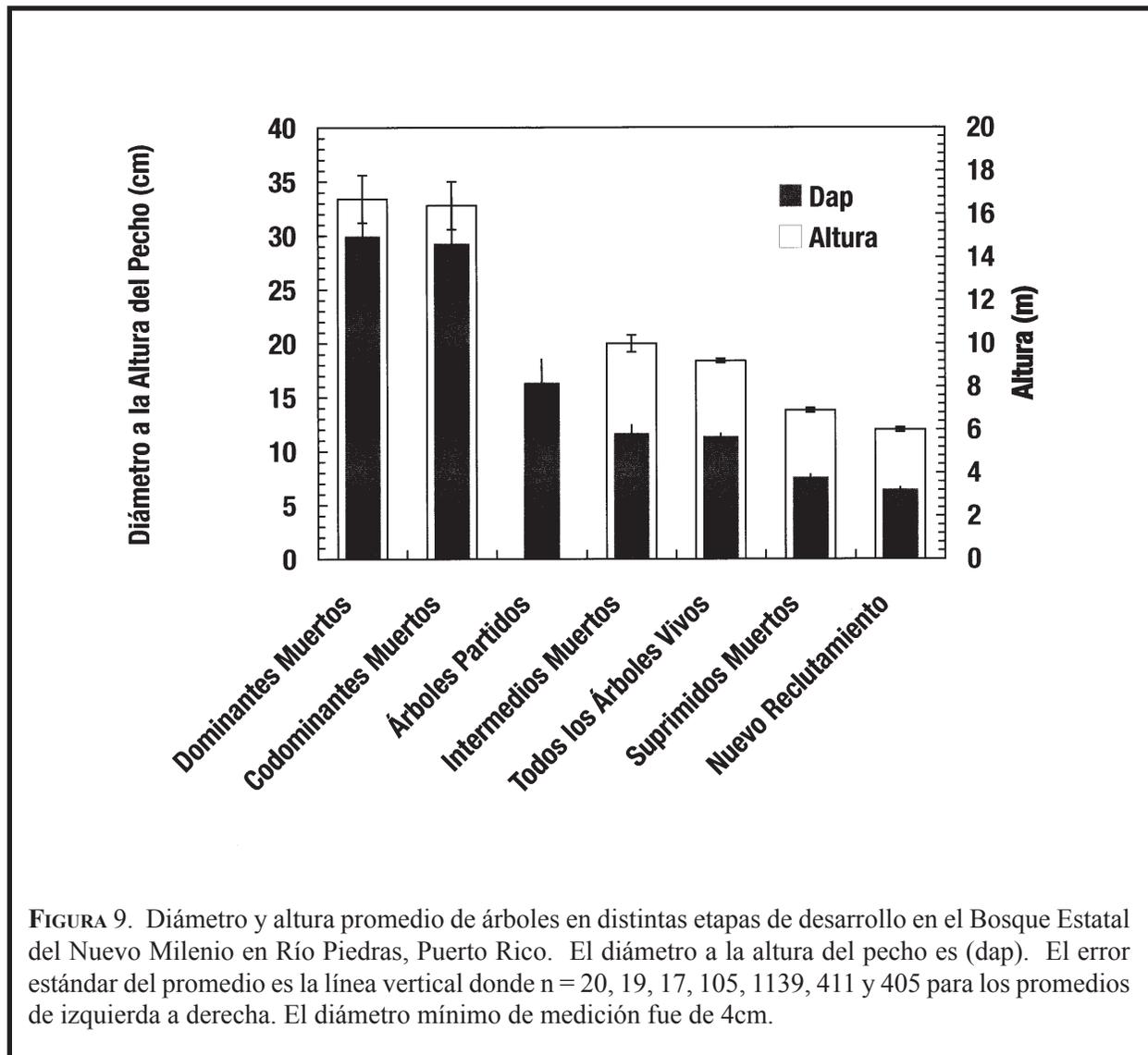
Las posiciones topográficas protegidas (valle ribereño y convergencia), con menos densidad de árboles muertos en pie exhibieron más área basal muerta que las posiciones de divergencia y pendiente (Tabla 3). Esta diferencia es también un reflejo del tamaño del árbol impactado. En los lugares protegidos los árboles son más grandes y aunque mueren pocos, éstos representan reducciones mayores de área basal y sin duda biomasa ya que los árboles son altos (Tabla 3).

El huracán interrumpió el crecimiento de los árboles y redujo la altura del dosel (Tablas 2 y 7), causando cambios estructurales y funcionales a largo plazo. La pérdida de altura se observó en todas las posiciones topográficas, aunque ocurrió en mayor magnitud en las posiciones de valle ribereño y convergencia. El viento afectó primordialmente árboles grandes, por ejemplo, los dominantes (Tabla 7). Cómo estos árboles grandes predominan en las posiciones valle ribereño y convergencia, es en esas posiciones donde los resultados expresados por tamaño de árbol reflejan altos impactos del huracán. En las posiciones expuestas (divergencia y pendiente) hay menos árboles grandes, pero más árboles suprimidos e intermedios y son estas clases las que más mortalidad sufrieron ya sea por el efecto directo del viento, por la caída de árboles grandes sobre ellos o por falta de luz luego que cerró el dosel. La presencia de árboles partidos siete años después del huracán reafirma la exposición de las pendientes (Tablas 5 y 6) ya que la mayor parte de éstos estaban en pendientes. Tanto la media como el promedio del dap y altura de árboles partidos superaban por mucho las dimensiones de los árboles

muertos con copas suprimidas o intermedias (Fig. 9 y comparar datos en Tabla 6 con Fig. 4).

La respuesta del bosque después del huracán incluyó el reclutamiento de árboles a las clases diamétricas  $\geq 4$ cm dbh y el crecimiento en los árboles que sobrevivieron. Las diferencias en las tasas de reclutamiento de árboles en las posiciones topográficas (Fig. 5) no fueron significativas. Además, el reclutamiento ocurrió a tasas similares a las de mortalidad excepto en la posición de divergencia donde la mortalidad fue mayor al reclutamiento ( $p < .06$ ). El balance entre reclutamiento y mortalidad en todas las posiciones topográficas excepto la de divergencia, ayuda a explicar el que la densidad de árboles no cambió significativamente entre el 1997 y 2005. Durante el periodo sin huracanes entre el 1943 y 1975, el reclutamiento a un rodal cercano al nuestro fue de 23 árboles/ha.año (Weaver y Nieves 1978). Es posible que la diferencia entre esta tasa de reclutamiento y los resultados después del huracán Georges (Fig. 5) reflejen el efecto de apertura del dosel sobre el reclutamiento de árboles.

Por otro lado, el huracán redujo la capacidad de crecimiento del bosque ya que la mayoría de los árboles o no crecieron o crecieron muy poco entre el 1997 y 2005 (Figs. 6-8). La reducción en el crecimiento de árboles después del paso del huracán se ha observado anteriormente. Por ejemplo, Reilly (1998) lo observó después del paso de huracán Hugo en bosques húmedos y secos en St John, US Virgin Islands. Ella le atribuyó la reducción a la desviación de los productos fotosintéticos para reparar y reemplazar la estructura azotada por el huracán, e.g., tallos, ramas, hojas etc. Similarmente, Lugo *et al.* (2005a) observaron reducciones en el crecimiento de árboles y aumento en la variabilidad en las tasas de crecimiento después del paso del huracán Georges por la región de Utuado, en Puerto Rico. Martínez Pastur *et al.* (2007) encontraron que condiciones físicas y ecofisiológicas causan reducciones en los diámetros de los árboles que pueden durar varios años. La alta variación en las tasas de crecimiento, que también observamos en el Bosque del Nuevo Milenio (Tabla 2), se atribuyó a la combinación de árboles impactados con tasas de crecimiento bajas o negativas y árboles sobrevivientes con tasas de crecimiento sobre el promedio.



A pesar de los valores bajos para la tasa de crecimiento de la mayoría de los árboles (Tabla 2), una porción de los árboles, y algunas especies en particular, exhibieron tasas altas de crecimiento, incluyendo crecimiento en altura (Figs. 6-8, Tabla 7). Esta variabilidad es uno de los efectos del paso del huracán ya que después de su paso el bosque contiene una mezcla de árboles dominantes y codominantes sobrevivientes con más espacio para crecer, árboles suprimidos e intermedios con acceso temporero a más luz y espacio y árboles sobrevivientes pero impactados por la pérdida de hojas, ramas y tallos. Cada grupo de árboles reacciona fisiológicamente con tasas de crecimiento distintas según reflejan los resultados del estudio.

Las tasas de crecimiento de los árboles dominantes y codominantes son tan altas como las reportadas para plantaciones maderadas en el Bosque Experimental de Luquillo (comparar resultados en la Tabla 7 con los de la Tabla 4 en Lugo *et al.* 2005a). Entre el 1943 y 1975, Weaver y Nieves (1978) estudiaron el crecimiento en diámetro de los árboles en un rodal cercano al nuestro y encontraron una amplitud de crecimiento entre 0.07 y 0.40 cm/año. Los árboles con copas dominantes crecieron a tasas de 0.20cm/año. En contraste, 21.4 por ciento de los árboles en nuestro estudio (Fig. 5 a) crecieron a tasas superiores a las medidas por Weaver y Nieves (1978). Parte de la diferencia puede que sea experimental debido al largo intervalo de tiempo entre las medidas de

Weaver y Nieves (32 años) pero parte se deben a la aceleración del crecimiento después del paso del huracán de parte de árboles dominantes y codominantes.

Los resultados de crecimiento y del efecto del huracán sobre los árboles grandes (tanto positivos como negativos) sugieren que el huracán fue selectivo con implicaciones a largo plazo. Inferimos tres efectos a largo plazo del huracán: selección a favor y en contra de árboles grandes dependiendo de la posición topográfica; selección a favor de un dosel sin árboles emergentes; y mantenimiento de nuevas combinaciones de especies arbóreas. El efecto del huracán fue selectivo en el sentido que afectó primordialmente la altura de los árboles grandes (dominantes y codominantes), particularmente en las posiciones de valle ribereño y convergencia. En las posiciones topográficas expuestas los árboles grandes se partieron o murieron en adición a una alta mortalidad de árboles suprimidos. Como la mayoría de los árboles más altos estaban en las posiciones de menor elevación, el efecto neto es que la altura del bosque converge en un dosel relativamente uniforme en altura reduciendo la posibilidad de árboles emergentes. En respuesta al impacto del viento, tasas altas de crecimiento se observaron principalmente en las posiciones de valle ribereño y convergencia (Tabla 7). El efecto a largo plazo de estas tendencias es que en las posiciones topográficas de valle ribereño y convergencia los árboles crecen más, manteniendo estas posiciones protegidas su ventaja sobre las posiciones expuestas en término de la presencia de los árboles más grandes en el bosque.

En cuanto a la composición de especies, los resultados demuestran que *S. campanulata*, la especie más abundante antes y después del huracán, mantuvo su posición de dominancia. Esto lo logró con un alto reclutamiento (Tabla 4) y respuesta positiva en el crecimiento de los árboles que sobrevivieron el huracán (Fig. 7 y 8), a pesar de sufrir reducciones significativas en la densidad y área basal de sus poblaciones (Tabla 3). Distintas especies arbóreas exhibieron respuestas diferentes en las tasas de crecimiento, reclutamiento y mortalidad, y hubo una reducción en el VI de las especies más importantes después del huracán y en el número absoluto de especies en los rodales

(Fig. 2, Tabla 1). Estos resultados sugieren que el huracán funciona como un agente selectivo en la composición del bosque a largo plazo aunque los cambios en especies atribuibles a un solo evento son de poca magnitud (Scatena y Lugo 1995, Fu *et al.* 1996). La reducción en el VI de la especie más importante refleja ajustes en el uso de los recursos entre las especies que sobrevivieron el huracán.

A pesar de que *S. campanulata* mantuvo su importancia luego del paso del huracán, la especie no se reportó en el estudio de Weaver y Nieves (1978) en un rodal de 0.5 ha cerca de las parcelas de este estudio. De hecho, las tres especies más importantes en nuestras parcelas (*S. campanulata*, *T. heterophylla* y *H. crepitans*) no estaban representadas en el estudio de Weaver y Nieves y ellos sólo reportaron 18 especies de las cuales la más importante fue *Eugenia jambos* (sinónimo de *Syzygium jambos*). Es posible que el historial del rodal estudiado por Weaver y Nieves fuese distinto al de las parcelas de este estudio, donde encontramos entre 14 y 18 especies introducidas. Las especies introducidas disminuyeron en importancia colectiva entre el 1997 y 2005 (18 especies en el 1997 con un VI de 43 por ciento y 14 especies en el 2005 con un VI de 40 por ciento). Aparentemente, las especies introducidas pierden importancia con el tiempo debido a la regeneración y crecimiento de especies nativas.

### Comparación con Otros Bosques

El Bosque Estatal del Nuevo Milenio con sus 53 a 56 especies arbóreas por ha (Fig. 2) es similar a otros bosques de Puerto Rico. Tal densidad de especies se ha medido en bosques secos, húmedos y muy húmedos por toda la Isla (Lugo 2005). La composición de especies nativas es típica de bosques secundarios de la zona de vida sub-tropical húmeda, pero la abundancia de *S. campanulata* y otras especies introducidas (Tabla 4 y Figs. 7 y 8) reflejan pasados usos agrícolas y convierten al bosque en un bosque nuevo *sensu* Lugo y Helmer (2004). Estos son bosques con nuevas combinaciones de especies que aparentemente son combinaciones estables debido a los cambios en las condiciones ecológicas causada por la deforestación y uso agrícola prolongado (Lugo 2004). Además, éstos bosques, incluyendo el del

Nuevo Milenio, reflejan la capacidad que tienen las especies introducidas para mantener su presencia en el bosque a pesar de la importancia de las especies nativas (Lugo 2004). Especies introducidas como *S. campanulata* persisten no solamente por su alto crecimiento y capacidad reproductiva, sino también por el beneficio del efecto periódico de disturbios como los huracanes. Estos disturbios abren el dosel del bosque y permiten la regeneración de especies adaptadas a altas intensidades de luz.

La densidad, área basal y altura del bosque (Tablas 1 y 2) reflejan su edad, siendo estos valores más altos que los de bosques secundarios más jóvenes (Popper *et al.* 1999) y similares a bosques secundarios con edad similar (Silver *et al.* 2004) en la misma zona de vida. En el estudio de Weaver y Nieves (1978) encontraron que el bosque cercano al nuestro tenía una densidad de 1920 árboles/ha y un área basal de 11.7m<sup>2</sup>/ha en el 1943 y para el 1978 la densidad de árboles fue de 1200 y el área basal 14.9. Todos los valores son menores a los que encontramos en el 1997 cuando el bosque había aumentado su densidad en un 23 porciento y el área basal en un 92 porciento.

En cuanto al crecimiento de los árboles en el Bosque del Nuevo Milenio, las tasas que medimos están dentro de los rangos reportados para otros bosques en Puerto Rico (ver Tabla 4 en Lugo *et al.* 2005a) y superiores a las medidas por Weaver y Nieves, por lo menos para los árboles que respondieron con rápido crecimiento después del huracán. Igualmente, las tasas de mortalidad y reclutamiento son similares a las medidas en Utuado por Lugo *et al.* (2005b) después del huracán Georges, aunque menores a las medidas en el Bosque Experimental de Luquillo después del huracán Hugo (Tabla 9 en Lugo *et al.* 2005b). La razón se debe a la mayor intensidad del huracán Hugo y al hecho de que contrario a este estudio, altas tasas de mortalidad en el Bosque Experimental de Luquillo se midieron inmediatamente después del huracán.

En conclusión, el Bosque Estatal del Nuevo Milenio, a pesar de su ubicación urbana y dominancia por especies introducidas, tiene características estructurales y funcionales similares a la de los bosques nativos de Puerto Rico. El bosque fue impactado por el huracán Georges con vientos de

127 km/h y siete años después había recobrado su estructura a los niveles que tenía un año antes del huracán. Los árboles que sobrevivieron el huracán con copas dominantes y codominantes en posiciones topográficas favorables (valle ribereño y convergencia) y que exhibieron tasas de crecimientos tan altas como se han medido en otros bosques de Puerto Rico, indican que la capacidad productiva del bosque no fue negativamente impactada por el paso del huracán.

## RECONOCIMIENTOS

Este estudio se llevó a cabo en colaboración con la Universidad de Puerto Rico. Olga Ramos y Mildred Alayón colaboraron en la elaboración del manuscrito. Agradecemos los comentarios del Dr. Frank Wadsworth.

## BIBLIOGRAFÍA

- Dawkins, H.C. 1956. Crown classification of natural forest trees. Uganda Forest Department, Technical Note No. 17.
- Despiau Batista, A. 1997. Distribución de las especies arbóreas de acuerdo al gradiente en topografía en el bosque de Río Piedras, Puerto Rico, luego de 60 años de abandono agrícola. *Acta Científica* 11:3-20.
- Fu, S., C. Rodríguez Pedraza y A.E. Lugo. 1996. A twelve-year comparison of stand changes in a mahogany plantation and a paired natural forest of similar age. *Biotropica* 28:515-524.
- Holdridge, L.R. 1967. Life zone ecology. Tropical Science Center, San José, Costa Rica.
- Lugo, A.E. 2004. The outcome of alien tree invasions in Puerto Rico. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2:265-273.
- Lugo, A.E. 2005. Los bosques. Páginas 395-548 en R.L. Joglar, editor. Biodiversidad de Puerto Rico. Vertebrados terrestres y ecosistemas. Editorial del Instituto de Cultura Puertorriqueña, San Juan, PR.
- Lugo, A.E., C. Domínguez Cristóbal y N. Méndez Irizarry. 2005a. Efectos del huracán Georges en el crecimiento de árboles en un bosque secundario en el interior de Puerto Rico. *Acta Científica* 19:23-40.
- Lugo, A.E., C. Domínguez Cristóbal y N. Méndez Irizarry. 2005b. Efectos del huracán Georges en la composición de especies y estructura de un bosque secundario en el interior de Puerto Rico. *Acta Científica* 19:41-61.

- Lugo, A.E. y E. Helmer. 2004. Emerging forests on abandoned land: Puerto Rico's new forests. *Forest Ecology and Management* 190:145-161.
- Lugo, A.E. y F.N. Scatena. 1996. Background and catastrophic tree mortality in tropical moist, wet, and rain forests. *Biotropica* 28:585-599.
- Martínez Pastur, G., M.V. Lencinas, J.M. Cellini e I. Mundo. 2007. Diameter growth: can live trees decrease? *Forestry* 80:83-88.
- Molina, S. y S. Alemañy. 1997. Species codes for the trees of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. USDA Forest Service, Southern Research Station General Technical Report SO 122, Asheville, NC. 67 p.
- Popper, N., C. Domínguez Cristóbal, A. Santos, N. Méndez Irizarry, E. Torres Morales, A. E. Lugo, Z.Z. Rivera Lugo, B. Soto Toledo, M. Santiago Irizarry, I.L. Rivera, L.A. Zayas y C. Colón. 1999. A comparison of two secondary forests in the coffee zone of central Puerto Rico. *Acta Científica* 13:27-41.
- Reilly, A.E. 1998. Hurricane Hugo: winds of change or not? Forest dynamics on St. John, US Virgin Islands, 1986-1991. Páginas 349-365 en F. Dalmeier y J.A. Comiskey, editores. *Forest biodiversity in North, Central, and South America, and the Caribbean: research and monitoring*. The Parthenon Publishing Group and UNESCO, Paris, France.
- Scatena, F.N. y A.E. Lugo. 1995. Geomorphology, disturbance, and the soil and vegetation of two subtropical wet steeppland watersheds of Puerto Rico. *Geomorphology* 13:199-213.
- Silver, W.L., L.M. Kueppers, A.E. Lugo, R. Ostertag y V. Matzek. 2004. Carbon sequestration and plant community dynamics following reforestation of tropical pasture. *Ecological Applications* 14:1115-1127.
- Suárez, A., I. Vicéns y A.E. Lugo. 2005. Composición de especies y estructura del bosque kárstico de San Patricio, Guaynabo, Puerto Rico. *Acta Científica* 19:7-22.
- Weaver, P.L. y L.O. Nieves. 1978. Periodic annual DBH increment in a subtropical moist forest dominated by *Syzygium jambos* (L.) Alston. *Turrialba* 28:253-256.

## EL VALOR MADERERO DEL BOSQUE URBANO

*Ariel E. Lugo*

Instituto Internacional de Dasonomía Tropical  
Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América  
1201 Calle Ceiba, Jardín Botánico Sur, Río Piedras, Puerto Rico 00926-1119

### INTRODUCCIÓN

El bosque urbano es parte de los espacios abiertos de la ciudad y entre sus valores principales están: el ahorro de energía a través de la sombra, la modificación del clima, la conservación del agua, alimentación y hábitat de la vida silvestre, el control de inundaciones y otras amenidades como el embellecimiento de la ciudad y la recreación pasiva. El bosque urbano es un sistema dinámico con ciclos rápidos de reproducción, crecimiento y muerte de árboles. De hecho, comparado con bosques nativos, el bosque urbano es mucho más dinámico en términos del ciclo de vida de los árboles. Esto se debe a que el ambiente urbano es un lugar hostil para el crecimiento de árboles, los cuales sufren altas tasas de mortalidad en todas sus edades, desde plántulas hasta el árbol maduro. La presencia de árboles centenarios en la ciudad es una rareza y por eso, estos árboles históricos ameritan conservación.

Normalmente, el gobierno promueve la siembra de árboles, pero presenta poca información sobre su mantenimiento o su tala. La tala de árboles no es una actividad popular entre la ciudadanía. De hecho, es altamente controversial. Sin considerar las causas de la controversia, la realidad es que rutinariamente en la ciudad se tumban muchos árboles. Desgraciadamente, en Puerto Rico no anticipamos qué hacer con los árboles urbanos, particularmente cuando llegan a etapas senescentes o al momento de su muerte. Aún los árboles que se siembran con mucha ceremonia, después de terminados los actos protocolarios, no reciben el cuidado necesario. Los árboles urbanos quedan a la merced de los elementos y de la suerte.

Típicamente, cuando hay que talar un árbol, el contratista o arborista a cargo de la tala reduce el árbol a una pila de trozos de madera de no más de 1 m (3 pies) de largo cada uno. Esto facilita

el proceso de la tala y el transporte de la madera al vertedero donde se entierra con todo el resto de la basura de la ciudad. En algunas limitadas ocasiones, algún artesano o aficionado al uso de la madera rescata trozos de ésta para propósitos o usos particulares. Esta situación levanta la siguiente pregunta: ¿Estamos utilizando óptimamente la madera que se produce en la ciudad? Un examen generalizado de los árboles urbanos demuestra que entre éstos se encuentran especies con maderas muy valiosas que al presente estamos desperdiciando en los vertederos del país. Teca, caoba, ausubo, majó y guayacán son ejemplos de excelentes maderas tropicales que crecen en las zonas urbanas de Puerto Rico y que no aprovechamos. Dos colegas – T. Brandeis y S. Knowe – estimaron que el volumen de madera en la zona metropolitana de San Juan es de aproximadamente 2.5 millones de pies cúbicos, de los cuales una proporción desconocida es de utilidad para fabricar muebles.

### Mi Experiencia

Recientemente, mi esposa Helen me dio un ultimátum sobre dos árboles de caoba frente a nuestra casa. Los árboles habían agrietado la verja y amenazaban con afectar la casa (Foto 1). Es bien conocido entre los expertos, que los árboles de caoba no son recomendables para sembrarse cerca de estructuras o aceras. Sus raíces tienden a expandirse en busca de agua y minerales y es por eso que es recomendable sembrarlos en espacios abiertos alejados de las estructuras. En mi caso, heredé los árboles cuando compré la casa en el 1980.

Los árboles eran de caoba dominicana o caoba de hoja pequeña (*Swietenia mahagoni*), la caoba que produce la madera más fina que se conoce. La madera de las otras especies de caoba, particularmente la caoba hondureña o de hoja grande (*Swietenia macrophylla*), aunque de enorme

valor y belleza (se conoce como “oro verde” debido a su alto costo), no es tan valiosa ni tiene la dureza o el color rojo intenso de la caoba dominicana. Durante el periodo de la colonización española, la caoba dominicana, oriunda de los bosques secos de las Antillas Mayores, fue muy codiciada y por su popularidad y exportación a Europa, se agotaron las reservas comerciales en la región. En el presente, la explotación comercial de caoba se concentra en la caoba de hoja grande, cuya distribución se extiende de Méjico a Perú.

Estimo que los árboles frente a mi casa tendrían una edad de entre 30 y 35 años (Foto 2). Su altura era de alrededor de 30 a 45 pies y el diámetro de sus tallos en la base era de 28 pulgadas para el más grande y 18 pulgadas el más pequeño. Me propuse que, en vez de cortar los árboles en muchos pedazos (Foto 3), buscaría cortarlos de forma tal que se pudiera obtener madera para construir muebles. Específicamente, mi objetivo era demostrar la utilización de la madera del bosque urbano en Puerto Rico. Decidí construir bancos de madera para el parque central de la urbanización El Paraíso, donde vivo. Frente a mi casa, los vecinos convertimos un pastizal abandonado en un hermoso bosque urbano y razoné que los bancos de caoba servirían para demostrar el ciclo de la madera desde la siembra hasta la utilización.

La experiencia no fue rutinaria, ni barata en tiempo o dinero. Debo aclarar que al momento de contratar servicios, no invertí esfuerzo en rebajar los costos, ya que mi empeño era lograr el objetivo de la utilización de la madera. Por eso, los costos que informo aquí son elevados y pueden reducirse.

El primer paso fue solicitar y obtener permiso del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) para la tala. Este trámite tomó dos meses en completarse. El resto de los trámites incluyeron: encontrar un aserradero, cortar los árboles para maximizar su utilidad, transportar las trozas de madera al aserradero e identificar a un ebanista para construir los muebles. Decidir qué construir y qué diseño utilizar tampoco fue fácil, pues había que considerar dos puntos de vista, el de Helen y el mío. Terminamos utilizando fotos de bancos y mesas en revistas como ejemplos para el ebanista, quien luego trabajaba de acuerdo a su creatividad.

El producto del esfuerzo fue 1,000 pies tablares de madera de un espesor de 1.0 y 1.5 pulgadas. El costo de producción por pie cúbico fue \$11.60, utilizando el costo de tala, transporte al aserradero, aserrado y secado. El valor de esta madera en el mercado es de aproximadamente \$4.00 por pie cúbico o tres veces más barato.

El proceso y su costo se resumen en el siguiente cuadro:

<b>Acción</b>	<b>Costo en dólares</b>
Tala de árboles de acuerdo a instrucciones del aserradero	900.00
Transporte de las trozas al aserradero en Naranjito	200.00
Aserrado y secado de la madera	350.00
Construcción de seis bancos y cuatro mesas	2,250.00
Transporte de los muebles a San Juan	190.00
<b>Total</b>	<b>3,890.00</b>

### Análisis de la Experiencia

El primer problema fue identificar el aserradero. Hablando con varias personas conseguí un aserradero en Naranjito, lo que creó problemas de costo y transportación de la madera. La tala fue supervisada por el operador del aserradero. De las trozas de madera que se produjeron, dos desaparecieron entre mi casa y el aserradero. Cada troza tenía un largo de casi 20 pies. Aprendí que es recomendable marcar cada troza, contarlas y supervisar su manejo durante todo el proceso, para evitar pérdidas innecesarias. Más aún, con esas dos trozas la productividad del ejercicio hubiese aumentado, pues al aumentar la ganancia baja el costo de elaboración por pie cúbico.

apresurarse. Hay que ser paciente. En nuestro caso, el secado tomó nueve meses. El ebanista y el aserrador eran una y la misma persona y eso facilitó el trabajo.

Tuvimos que transportar los productos elaborados a San Juan, tarea nada fácil por el peso y volumen de éstos. Se lograron seis bancos para el parque (Foto 5) y cuatro mesas de caoba para nuestra casa. Por la belleza de los bancos Helen se apoderó de uno, por lo que cinco llegaron al parque (Foto 6). Estimamos conservadoramente que el valor de cada banco es de \$500.00 y las mesas se valoran en \$250.00 cada una. El siguiente cuadro resume estos datos:

Descripción	Valor o costo en dólares
Costo de corte y procesamiento de la madera	1,450.00
Valor de la madera en el mercado*	500.00
Valor neto después del procesamiento*	-950.00
Costo de la elaboración de la madera y transporte de los muebles a San Juan	2,440.00
Valor de los muebles producidos	4,000.00
Valor neto añadido*	610.00

\*No incluye las dos trozas perdidas; el signo negativo implica pérdida.

En Puerto Rico no hay mucha experiencia en el transporte de trozas de madera. Las trozas se transportaron a Naranjito en un camión de remolque de automóviles y fue trabajoso cargar el remolque como si la madera fuese un vehículo de motor. Las trozas de caoba pesan mucho y son difíciles de mover sin el equipo apropiado. El encargado del transporte no estaba preparado para la tarea que enfrentó con las pesadas trozas de caoba dominicana (Foto 4).

El secado de la madera es una etapa crítica porque la calidad del producto depende de un buen secado. Esta etapa toma mucho tiempo y no debe

¡Todo lo anterior se obtuvo de dos árboles de caoba que crecían en el encintado de la acera en una urbanización!

### Una Oportunidad

El bosque urbano puede sustentar una industria artesanal de muebles si así nos lo proponemos. Los costos de aserrado y transporte se pueden reducir con un aserradero portátil que el gobierno puede aportar y operar. Hay que identificar un lugar adecuado para secar la madera y un procedimiento eficaz para organizar la tala, el transporte y el secado de la madera. Las oportunidades para los

artesanos y ebanistas pueden multiplicarse si se maneja el bosque urbano para usar su madera en vez de enterrarla en los vertederos. El manejo del bosque debe ser sustentable para asegurar su sobrevivencia a largo plazo. O sea, el aprovechamiento de la madera debe ser igual o inferior al crecimiento de los árboles del bosque urbano.

El bosque urbano tiene valor maderero y podría revivir una industria de muebles y productos madereros para los turistas que visitan a Puerto Rico y para los puertorriqueños que valoran la madera fina y el arte de trabajarla en artículos útiles y bellos.

### AGRADECIMIENTO

Este trabajo se llevó a cabo en colaboración con la Universidad de Puerto Rico. Gracias a Mildred Alayón, Helen Nunci y Juan Carlos Quiñones por la preparación del manuscrito. También agradezco el trabajo de Francisco Ruberías quien transportó los muebles de Naranjito a San Juan, Jorge Ortega, operador del Aserradero y Ebanistería Ortega en Naranjito, quien trabajó la madera y fue el supervisor técnico de la tala y José Daniel Delgado, quien construyó dos de las mesas.

### Para más Información

#### Sobre qué árboles sembrar y dónde:

Francis, J.K. 1999. Especies forestales para sembrar en áreas forestales, rurales y urbanas en Puerto Rico. General Technical Report IITF-13. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. Río Piedras, PR. 88 p.

Schubert, T.H. 1985. Árboles para uso urbano en Puerto Rico e Islas Vírgenes. General Technical Report SO-57. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experimental Station. New Orleans, LA. 87 p.

U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Region, International Institute of Tropical Forestry y Departamento de Recursos Naturales de Puerto Rico. 1995. A tree planting guide for Puerto Rico and other Caribbean countries. [Guía de siembra de

árboles para Puerto Rico y otros países del Caribe]. Forestry Report R8-FR-19. Atlanta, GA. Varias páginas.

#### Sobre la reforestación y los viveros:

Liegel, L.H. y Venator, C.R. 1987. A technical guide for forest nursery management in the Caribbean and Latin America. General Technical Report SO-67. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, New Orleans, LA. 156 p.

Ruiz, B.I., (editora). 2002. Manual de reforestación para América Tropical. General Technical Report IITF-GTR-18. Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Instituto Internacional de Dasonomía Tropical. Estación Experimental del Sur, San Juan, PR. 206 p.

#### Sobre las maderas de Puerto Rico:

Longwood, F.R. 1989. Maderas puertorriqueñas: relacionado a su trabajo a máquina, secado y otras relacionadas. Instituto de Dasonomía Tropical, Estación Experimental Forestal del Sur, Río Piedras, PR. 87 p.

#### Sobre los árboles de Puerto Rico:

Francis, J.K. y Lowe, C.A., (editores). 2000. Bioecología de árboles nativos y exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales [Silvics of Puerto Rico and the Caribbean Islands, Salvador Travanino, traductor]. General Technical Report IITF-15. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry, Río Piedras, PR. 582 p.

Little, E.L., Wadsworth, F.H. y Marrero, J. 2001. Árboles comunes de Puerto Rico y las Islas Vírgenes. Editorial de la Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, PR. 764 p.

Little, E.L., Woodbury, R.O. y Wadsworth, F.H. 1988. Árboles comunes de Puerto Rico y las Islas Vírgenes. Volumen II. Agricultural Handbook 449-S. U.S. Department of Agriculture. Washington, DC. 1,024 p.



**Foto 1.**



**Foto 2.**

**Foto 3.****Foto 4.**



**Foto 5.**



**Foto 6.**

---

**ACTA CIENTÍFICA** is the multidisciplinary journal of the Puerto Rico Science Teachers Association. **ACTA** publishes research papers in any scientific field, i.e. physics, chemistry, biochemistry, botany, zoology, ecology, biomedics, medicine, behavioral psychology, pharmaceutical technology, and/or mathematics. An *article* describes a complete and definite study. *Notes* describe a complete project, shorter, and usually referring to original findings or important modifications of previously described techniques. *Essays* discuss general scientific problems but are not based on original experimental results. *Reviews* discuss the most recent literature on a given subject.

Manuscripts should be sent in triplicate to the Editor, who will submit them for review to a referee in the field of science involved. Acceptance of papers will be based on their scientific content and presentation of material according to **ACTA's** editorial norms. Manuscripts can be presented in English or Spanish. Papers submitted for publication should be concise and appropriate in style and use of abbreviations. Submission of a manuscript implies it has not been published nor is being considered for publication by any other journal.

Ariel E. Lugo  
Editor Acta Científica  
International Institute of Tropical Forestry  
USDA Forest Service  
1201 Ceiba Street, Jardín Botánico Sur  
Río Piedras, Puerto Rico 00926-1119

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

- Manuscripts should be accompanied by a summary in Spanish and an abstract in English, double-spaced and on separate pages, headed by the complete title of the paper translated into English/ Spanish in each case. The title should be informative and short, generally no longer than 12 words; a shorter title (no more than 40 letters) in the paper's original language should be included for use as a running head.
- Figures and photos should be identified on the reverse side by sequential number, first author's name, and manuscript title. A list of figures with corresponding legends should be typed double-spaced on separate pages.
- Tables should be typed double-spaced, presented on separate pages, numbered consecutively, have a short title, and be precise. Do not repeat the same material in figures and tables.
- Authors should use the metric system for their measurements. Consult the International System of Units (SI) as a guide in the conversion of measurements. When preparing text and figures, note in particular that SI requires: (1) the use of the terms "mass" or "force" rather than "weight"; (2) when one unit appears in a denominator, use the solidus (e.g. g/m<sup>2</sup>); for two or more units a denominator, use one solidus and a period (e.g. g/m<sup>2</sup>.d); (3) use the capital "L" as the symbol for litre.
- Assemble the parts of the manuscript in this order: title page, abstract, text, acknowledgements, literature cited, appendices, tables, figure legends, and figure. Number all pages.

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

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

The Editor is responsible for unsigned comments and editorials. The Science Teachers Association of Puerto Rico does not necessarily agree with any opinions expressed in **ACTA** nor do these opinions represent those of any individual member. Readers are cordially invited to make comments by sending letters to the Editor. This journal serves no commercial interest and does not provide economic benefit to its editors.

---

# ACTA CIENTÍFICA

---

## TABLA DE CONTENIDO

---

EDITORIAL .....	1
ENSAYO	
The ecosystems of the Luquillo Mountains .....	3
<i>Ariel E. Lugo</i>	
ARTÍCULOS	
Composición de especies y estructura del bosque kárstico de San Patricio, Guaynabo, Puerto Rico .....	7
<i>Antonio Suárez, Iván Vicéns y Ariel E. Lugo</i>	
Efectos del huracán Georges en el crecimiento de árboles en un bosque secundario en el interior de Puerto Rico .....	23
<i>Ariel E. Lugo, Carlos Domínguez Cristóbal y Noemí Méndez Irizarry</i>	
Efectos del huracán Georges en la composición de especies y estructura de un bosque secundario en el interior de Puerto Rico .....	41
<i>Ariel E. Lugo, Carlos M. Domínguez Cristóbal y Noemí Méndez Irizarry</i>	
Estructura de la vegetación en la estación biológica Mata de Plátano .....	63
<i>Sandra Molina Colón, John P. Banchs, Heinz Weidisch, Piel J. Banchs, Delly A. Acosta, Carmen Medina y Juan P. Torres Molina</i>	
El bosque del parque central de la urbanización El Paraíso: estructura, composición de especies y crecimiento de árboles .....	73
<i>Elena Román Nunci, Humfredo Marcano Vega, Iván Vicéns, Gabriela Bortolamedi y Ariel E. Lugo</i>	
El Bosque Estatal del Nuevo Milenio antes y después del huracán Georges .....	83
<i>Ariel E. Lugo, Elena Román Nunci, Maya Quiñones, Humfredo Marcano Vega e Iván Vicéns</i>	
NOTA	
El valor maderero del bosque urbano .....	107
<i>Ariel E. Lugo</i>	