

**UNIVERSIDAD METROPOLITANA
ESCUELA GRADUADA DE ASUNTOS AMBIENTALES
SAN JUAN, PUERTO RICO**

**ANALISIS DE LA PRODUCTIVIDAD Y ESTRUCTURA FORESTAL EN EL ÁREA
MITIGADA DE LA CIÉNAGA LAS CUCHARILLAS**

Requisito parcial para la obtención del
Grado de Maestría en Ciencias en Gerencia Ambiental
En Conservación y Manejo de Recursos Naturales

**Por
Berenice Arana Vega**

3 de diciembre de 2008

DEDICATORIA

*A mis amados hijos, que son la razón de mi vida,
mi inspiración, mi motivo de superación,
mi máspreciado tesoro.*

*A mi amado esposo, gracias por tu incondicional apoyo
Por tu colaboración y tu comprensión durante mis estudios graduados
A toda mi familia.*

Les dedico este logro académico. Los amo.

AGRADECIMIENTOS

Gracias Dios por darme la fortaleza, la salud y la capacidad para poder culminar mis estudios graduados. Mi más grande agradecimiento para el Dr. Juan C. Musa, por su incondicional apoyo, colaboración e infinita ayuda para el desarrollo de esta investigación. Musa, gracias por dedicarme tan valioso tiempo, por dirigir esta investigación y guiarme en todo momento.

Gracias a todos mis profesores por brindarme el conocimiento y las herramientas necesarias para llevar a cabo mis estudios. Gracias a la Escuela de Asuntos Ambientales y al Proyecto PRECAM, por darme la oportunidad de iniciar mis estudios graduados y por darme la oportunidad de desarrollarme tanto a nivel profesional como personal; en especial, a la Dra. Evelyn García y la Prof. María Vilches. Mi profundo agradecimiento al Dr. Carlos Padín por todo su apoyo e interés en el desarrollo y culminación de este proyecto. A la Prof. María Ortiz, por acompañarme en un viaje de campo a Cucharillas y por aportar valiosas ideas para esta investigación. Gracias a la Dra. Ruby Montoya, por su significativa colaboración y por sus consejos.

Mi más profundo agradecimiento al Sr. Carlos Morales, por brindarme todo su conocimiento sobre la ciénaga, por todas las gestiones y colaboración para llevar a cabo esta investigación. También quiero agradecer, a mi compañera de estudios y gran amiga, Maura Torres, por su gran ayuda y por su tiempo en la colocación de las canastas en el campo.

Por último, y no menos importante, a mi familia, a mis hijos José Javier y Joshua Rafael por su ayuda y colaboración. A mi esposo Javier por apoyarme incondicionalmente en todo lo que hago. A mis hermanas, en especial a mi querida

hermana Charlotte por sus oraciones y por su gran Fe que sirvieron de motor para dirigirme en todo momento. A todos ustedes por ser parte de mi vida, le pido a Dios que multiplique en salud y en bendiciones toda la ayuda para conmigo.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE APÉNDICES	ix
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
Trasfondo del problema.....	1
Problema de estudio	5
Justificación.....	7
Pregunta de investigación	9
Meta.....	9
Objetivos.....	10
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA.....	11
Trasfondo histórico.....	11
Marco teórico.....	15
Importancia de los humedales.....	18
Impacto humano sobre los humedales	19
Descripción de especies arbóreas	21
Productividad de un ecosistema.....	23
Estudios de casos.....	29
Marco Legal	32
Leyes estatales.....	32
Leyes federales.....	36
Reglamentos estatales.....	37
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	39
Área de estudio	39
Periodo de estudio	39
Medir la estructura forestal de las especies arbóreas.....	40
Diámetro de los árboles	40
Altura de los árboles	40
Diseño metodológico	41
Análisis de datos.....	41
Calcular la productividad de hojarasca y residuos vegetales.....	42
Ubicación de las canastas.....	42
Diseño metodológico	43
Análisis de datos.....	43
Analizar cualitativamente muestras de suelo	
Diseño metodológico	44
Análisis de datos.....	44
Analizar cualitativamente muestras de agua.....	45
Diseño metodológico.....	45
Análisis de datos.....	46

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
Introducción.....	47
Comparación de datos obtenidos de la estructura forestal.....	47
Comparación de datos obtenidos de la colección de hojarasca.....	48
Evaluación cualitativa del suelo	49
Evaluación cualitativa del agua	49
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
Conclusiones.....	51
Recomendaciones.....	55
Limitaciones.....	56
LITERATURA CITADA	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Diámetro (cm), altura (m), Área basal (m ²) y la ubicación geográfica de las especies arbóreas en el área de estudio.....	63
Tabla 2.	Promedio de área basal (m ²) por especie en el área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas	64
Tabla 3.	Ubicación Geográfica de las Canastas en el área de estudio.....	65
Tabla 4.	Producción de hojarasca (g/m ² día) en áreas de mitigación en la ciénaga Las Cucharillas. Periodo 55 días.....	66
Tabla 5.	Resultado de análisis cualitativo de muestras de suelo.....	67
Tabla 6.	Posición geográfica de muestras de agua en el área mitigada de la ciénaga Las Cucharilla.....	68
Tabla 7.	Promedio de altura (m) y diámetro (cm) a la altura del pecho por especie.....	69
Tabla 8.	Promedio de producción de hojas (g) por especie en el área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas	70
Tabla 9.	Promedio de la producción de hojarasca (g/m ² día) de las especies arbóreas del área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas.....	71
Tabla 10.	Promedio del pH en el suelo por especie en el área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas.....	72
Tabla 11.	Tabla de salinidad de las muestras de agua en el área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas	73
Tabla 12.	Resultado del análisis cualitativo de las muestras de agua en el área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas	74
Tabla 13.	Correlación entre el pH de las muestras de suelo y la producción de hojarasca en el área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas.....	75
Tabla 14.	Correlación entre el pH de las muestras de suelo y el área basal de las especies arbóreas del área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas.....	76
Tabla 15.	Correlación entre el pH de las muestras de suelo y la altura de las especies arbóreas del área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas.....	7

Tabla 16.	Correlación entre el pH de las muestras de suelo y el diámetro (cm) de las especies arbóreas del área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas.....	78
-----------	---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de ubicación del área de estudio de la ciénaga Las Cucharillas.....	80
Figura 2.	Promedio de producción de hojas de las especies arbóreas por área mitigada en la ciénaga Las Cucharillas	81
Figura 3.	Correlación entre el pH de las muestras de suelo y la productividad primaria de las especies arbóreas del área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas.....	82
Figura 4.	Correlación entre el pH del suelo y el área basal de las especies arbóreas del área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas.....	83
Figura 5.	Correlación entre el pH de las muestras de suelo y el diámetro (cm) de las especies arbóreas del área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas.....	83
Figura 6.	Correlación entre el pH de las muestras de suelo y la altura (m) de las especies arbóreas en el área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas.....	84

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1.	Tarjetas de los estuches de muestra de agua.....	86
Apéndice 2.	Tarjetas de los estuches de muestra de suelo.....	89
Apéndice 3.	Fotografías de identificación de especies arbóreas.....	94
Apéndice 4	Fotografías de colocación de canastas	97
Apéndice 5	Fotografías de recolección de hojarasca	100
Apéndice 6.	Fotografías de medida de parámetros forestales.....	103

LISTA DE SÍMBOLOS O ABREVIATURAS

AEE	Autoridad de Energía Eléctrica
CO ₂	Bióxido de Carbono
CWA	Ley de agua limpia
DIA	Declaración de Impacto Ambiental
DRNA	Departamento de Recursos Naturales y Ambientales
EPA	Agencia Federal de Protección Ambiental
ESA	Ley sobre especies en peligro de extinción
IUCN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
JCA	Junta de Calidad Ambiental
JP	Junta de Planificación
OE	Orden Ejecutiva
Ppm	Partes por mil
SDWA	“Safe Drinking Water Act”
SEBSJ	Sistema del Estuario de la Bahía de San Juan

RESUMEN

Este estudio fue realizado en el área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas en Cataño. Para llevar a cabo estas mitigaciones, la empresa Bacardí Corporation modificó el contorno del suelo y sembraron especies de plantas propias de áreas de humedal. Para desarrollar este estudio, escogimos tres de las especies arbóreas usadas en ambas áreas mitigadas. Estas especies fueron: *Annona glabra*, *Pterocarpus officinalis* y *Thespesia populnea*. Determinamos la estructura forestal midiendo parámetros de altura, diámetro y el área basal y determinamos la caída de hojarasca para calcular la productividad primaria de cada uno de los ejemplares seleccionados. Además, analizamos cualitativamente muestras del suelo donde se desarrollaba cada árbol seleccionado, y de igual forma analizamos cualitativamente muestras de agua obtenidas en ambas áreas mitigadas. Al evaluar la estructura forestal encontramos que *Pterocarpus officinalis* fue la especie arbórea con parámetros forestales mayores; la cual presenta un mayor diámetro, mayor altura y mayor área basal, lo que demuestra que es la especie mejor adaptada y acomodada, por lo que fue un acierto escoger esta especie para llevar a cabo la mitigación. Según los resultados de la cuantificación de hojarasca, podemos indicar que *Thespesia populnea* fue la especie arbórea que aportó mayor cantidad de hojas y mayor cantidad de hojarasca cuantificada. De acuerdo con los resultados obtenidos, *Thespesia populnea* resultó ser la especie más productiva del área mitigada. Los resultados del análisis cualitativo de las muestras de suelo arrojaron una baja concentración de nitratos y fosfatos, mientras que la concentración de potasio fue alta. Lo que nos lleva a concluir que el suelo donde se desarrollan las especies arbóreas en el área mitigada contiene bajas concentraciones de nutrientes, lo cual produce un crecimiento lento. Los resultados del análisis cualitativo de las muestras de agua evidencian la ausencia de salinidad. Determinamos la presencia de fosfatos, lo que indica que hay productividad biológica en el ecosistema. El único metal que mostró presencia fue el hierro (Fe), lo que sería necesario realizar pruebas cuantitativas para determinar su concentración. Las pruebas de correlación entre el pH y parámetros forestales y producción de hojarasca arrojaron que en términos de productividad *Annona glabra* presentó una correlación negativa, lo cual muestra que al disminuir el pH, aumenta su productividad. La especie *Thespesia populnea* presentó una correlación positiva, que muestra que al aumentar el pH, aumenta su productividad. En términos del área basal, la *Thespesia populnea* presentó una correlación negativa; al aumentar el pH, disminuye el área basal, de igual forma del diámetro. La correlación entre el pH y la altura no fue significativa para ninguna de las especies arbóreas. Recomendamos un programa de monitoreo periódico de los parámetros forestales y productividad de estas especies arbóreas y evaluar cuantitativamente los parámetros químico-físicos para determinar el éxito de las mitigaciones.

ABSTRACT

This study was developed at the mitigated area in Las Cucharillas marsh in Cataño. To carry out these mitigations, Bacardi Corporation modified the contour of the land floor and new species of wetland plants were sown. To develop this study, we chose three of the arboreal species used in both mitigations. These species were: *Annona glabra*, *Pterocarpus officinalis* and *Thespesia populnea*. We determine the forest structure measuring parameters of height, diameter and basal area; also we determined the litter fall to determine the primary productivity of each selected tree. We analyze qualitatively the soil and water in both mitigated areas. Upon evaluating the forest structure we find that *Pterocarpus officinalis* was the arboreal species with greater forest parameters; presenting a greater diameter, greater height and greater basal area, showing that is the better species adapted and accommodated, so it was a good decision to choose this species to carry out the mitigation. According to the results of the quantification of litter fall, we can indicate that the *Thespesia populnea* was the arboreal species that contributed greater quantity of leaves and greater quantity of litter fall quantified. According to the obtained results, *Thespesia populnea* is the most productive species of the mitigated area. The results of the qualitative analysis of the samples of soil show a low concentration of nitrates and phosphates, while the concentration of potassium was high. We declare that the soil in which the arboreal species develop in the area mitigated contains low nutrients concentrations, which allow a slow growth. The results of the qualitative analysis of the samples of water show the absence of salinity. The presence of phosphates was determined; it indicates that there is a biological productivity in the ecosystem. The only heavy metal that showed presence was the iron (Fe), meaning that it would be necessary to carry out quantitative to determine its concentration. Correlation test between the pH and forest parameters and litter fall production showed that in terms of productivity the species *Annona glabra* presented a negative correlation, showing that diminishing the pH values it enhance its productivity. The *Thespesia populnea* presented a positive correlation, showing that when enlarging the pH values, enlarges its productivity. In terms of the area basal, the *Thespesia populnea* presented a negative correlation showing that when enlarging the pH, diminishes the area basal, and so its diameter. The correlation between the pH and the height was not significant for none of the arboreal species. We recommend continue monitoring programs of forestall parameters and productivity of the arboreal species and a quantitative evaluation of chemical physical parameters to assure a well performed restoration.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Trasfondo del problema

En sus orígenes, el municipio de Cataño era parte del municipio de Bayamón. Las “Ciénagas de Cataño” era uno de los nombres por los cuales se le conocía a este territorio por poseer ciénagas profundas y manglares espesos de imposible penetración (Batista, Morales, Diaz & Padin, 2005). La ciénaga Las Cucharillas ha estado en amenaza desde el pasado siglo y para el 1873 el gobierno ordenó desecar los humedales de Cataño, creando así zonas para establecer comercios e industrias, que provocaron el movimiento y el incremento de la población a esta zona. Eventos como la invasión de terrenos para el establecimiento de comunidades que carecen de sistema sanitario, la canalización del Río Bayamón, la construcción de carreteras, el establecimiento de la industria y de proyectos residenciales, han provocado la degradación ecológica del área del humedal, y la contaminación del hábitat que afecta tanto a especies como a las comunidades.

La Ciénaga Las Cucharillas forma parte del Estuario de la Bahía de San Juan. Cubre un área aproximada de 1,236 acres y consiste en su mayoría de humedales herbáceos con algunos parchos de mangle y zonas de agua abierta. Localizada entre los municipios de Cataño, Bayamón y Guaynabo, conforma el humedal más grande del área metropolitana (Batista, Morales, Diaz & Padin, 2005) y este ecosistema es parte del Estuario de la Bahía de San Juan, y posee la mayor diversidad de aves acuáticas, migratorias y endémicas del estuario. La Ciénaga ejerce un rol importante en las comunidades aledañas en el control de las inundaciones. Recibe las escorrentías de los parques industriales vecinos, sirviendo como filtro y tratamiento de las aguas residuales antes que lleguen al estuario, además reduce la contaminación del aire generados por

la termoeléctrica de la AEE, refinerías y automóviles que circulan por la carretera 165 y el expreso De Diego (Ruiz, 1999). La ciénaga Las Cucharillas tiene el potencial de atrapar y retener contaminantes tóxicos presentes en el agua de escorrentía que llegan a la misma y podrían estar presentes en el agua y en los sedimentos (Batista, 2005).

La Ciénaga Las Cucharillas ha sido fragmentada en dos secciones, una es el humedal herbáceo con manglar y la otra sección la compone la Laguna secreta. El humedal herbáceo bordea al noreste a la carretera 165, al noroeste con la urbanización Marina Bahía, al suroeste con la barriada las Cucharillas, al sureste con las comunidades Juana Matos y el Coquí. La Laguna Secreta es una laguna artificial que queda al otro lado de la carretera #5. Hacia el sur tiene el caño La Malaria y el expreso De Diego, al suroeste la comunidad Puente Blanco, al oeste la Carretera #5, al norte el residencial Juana Matos, al noreste y este la carretera #165, al sureste los parque industriales Las Palmas, Luchetti y Amelia, y el peaje de Buchanan. Esta laguna es el resultado de la construcción de un dique en la década de los años 60 con el propósito de depositar el material dragado de la Bahía de San Juan; que luego fueron depositados formando lo que hoy conocemos como la península La Esperanza.

Las condiciones ambientales en las que se encuentra este ecosistema degradado alteran los beneficios ecológicos que proporciona este humedal. Es por eso que la restauración, y el manejo adecuado es imperativo para mejorar la calidad de la ciénaga. Restaurar la ciénaga es recobrar el humedal degradado a una condición pre-existente o tan cerca de esa condición como sea posible (Trulio, 2003). Durante los últimos cincuenta años, se ha incrementado drásticamente la necesidad de detectar cambios en el medio ambiente causados por fuentes naturales o por acción del hombre, esto ha favorecido que el desarrollo de programas de monitoreo sean mejor planificados, ejecutados y de mayor análisis de datos (Abarca, 2006).

Problema de estudio

Los cambios a través del tiempo han hecho que la ciénaga Las Cucharillas sea un humedal degradado, por lo tanto, es necesario establecer metodologías eficientes en la restauración de los humedales. Los proyectos de restauración deben tener objetivos alcanzables incluyendo la minimización de cualquier disminución en las funciones existentes del humedal (Trulio, 2003). La gestión ambiental es la herramienta para alcanzar estrategias de protección y conservación de humedales. Es necesaria la implementación de programas de seguimiento y monitoreo para una retroalimentación de información técnica que ayuden al replanteamiento y nuevas estrategias de conservación (Miamone, Aliphat, Ramirez, Valdez & Macias, 2005).

Esta investigación se realizará en el humedal herbáceo que forma la Ciénaga Las Cucharillas en el municipio de Cataño, ubicada al norte por la carretera 165 y la Urbanización Marina Bahía, al oeste se encuentra la comunidad Valparaíso, y al sur por la comunidad Juana Matos. Estos terrenos donde se llevará a cabo la investigación forman parte de los terrenos que Bacardí Corporation cedió a la Universidad Metropolitana dentro de la Ciénaga Las Cucharillas.

En el área de estudio se han dado dos mitigaciones que son importantes estudiar en esta investigación. Ambas mitigaciones forman parte de los diez acres que Bacardí cede al Sistema Universitario Ana G. Méndez. Antes de llevar a cabo las mitigaciones en la ciénaga, dominaban especies herbáceas como la hierba enea *Thypha domingensis*, la hierba venezolana *Paspalum faciculatum*, *parana Brachaiaria Purpusrascens* asociadas a humedales herbáceos (Editorial Universidad de Puerto Rico, 2001). Al ser bioindicadores, estas plantas nos señalan que el estado del humedal es uno en deterioro.

Bacardí contrató a la empresa Ambienta, quien realizó una mitigación en un área que comprende un acre. Esta mitigación se llevó a cabo para reparar el daño

ocasionado por la construcción de un nuevo acceso a la carretera PR-868 a unos pozos de agua. En esta mitigación, se cambió el contorno del suelo, se introdujeron nuevas especies de plantas y se desarrolló el control de especies invasivas. Las especies arbóreas introducidas en esta mitigación están *Pterocarpus officinalis*, *Rhizophora mangle*, *Annona glabra*, *Laguncularia racemosa* y *Thespesia populnea*.

Otra mitigación tuvo lugar adyacente a la mitigación anterior en un área de dos acres, como requisito para poder construir instalaciones industriales de Flexitank; empresa dedicada a la construcción de tanques. Los objetivos de esta mitigación fueron: incrementar la biodiversidad por medio de la restauración del humedal boscoso, restaurar la calidad del humedal en su capacidad de almacenamiento de carbono, nutrientes, por ende su calidad de agua. En esta mitigación, las especies arbóreas introducidas fueron: *Pterocarpus officinalis*, *Rhizophora mangle*, *Annona glabra*, *Languncularia Racemosa*, *Thespesia populnea* y *Manilkara bidentata*.

Dadas las bondades ecológicas de este recurso natural, esta investigación pretende comparar la productividad y la estructura de tres especies arbóreas y la calidad del suelo y agua en el área mitigada de la Ciénaga Las Cucharillas, para determinar en efecto la especie arbórea más productiva de la mitigación para establecer recomendaciones de manejo y de restauración de la Ciénaga Las Cucharillas.

Justificación del estudio

La ubicación de la Ciénaga dentro de una zona de gran actividad industrial y residencial provoca que reciba gran cantidad de contaminantes producto tanto de la industria como de las actividades antropogénicas de las comunidades aledañas. Por años La Ciénaga Las Cucharillas ha sido usada como vertedero clandestino por la falta de recogido de basura a estas comunidades, esto ha provocado que el deterioro de las

funciones del humedal en la prevención de inundaciones, la calidad del agua y en la disponibilidad de hábitat silvestre (Batista, Morales, Diaz & Padin, 2005).

En el Plan de Manejo de la Ciénaga Las Cucharillas se establece como meta el “Proteger, restaurar y conservar las áreas de alto valor ecológico de la Reserva Natural Ciénaga Las Cucharillas para el beneficio actual y futuro de la sociedad puertorriqueña, las comunidades locales, la ciencia y la educación”. Acorde con la meta principal del plan y contribuir con la finalidad de la Escuela de Asuntos Ambientales de la Universidad Metropolitana, el realizar esta investigación puede producir información valiosa para poder manejar, conservar y llevar a cabo medidas de mitigación adecuadas en la Ciénaga y a su vez dar paso a que se desarrollen nuevas investigaciones que contribuyan al bienestar de este ecosistema.

Para entender el funcionamiento de los humedales costeros es necesario considerar todo el paisaje, incluso los lugares donde se originan los eventos de perturbación que los impactan. Muchos de los efectos negativos al ambiente se deben a la carencia de un conocimiento apropiado del ecosistema y la carencia de una metodología conveniente para diagnosticar, verificar y desarrollar planes de manejo y conservación integrales de toda la zona costera (Medina, 2006). Es necesario analizar los impactos y respuestas de los humedales a estos disturbios (Lugo, 2006). Dada la complejidad del entorno natural que rige el funcionamiento de los humedales costeros, Lugo recomienda un enfoque de análisis y estudio a nivel de conjunto de ecosistema a varias escalas de tiempo y espacio, enfocado en el funcionamiento y en las propiedades del sistema. Elementos de enfoque funcional que deben ser analizadas son la descripción cuantitativa de las condiciones ambientales que regulan el funcionamiento del humedal, la identificación de las fuerzas que perturban el sistema costanero y las respuestas de los distintos ecosistemas a estos eventos. Tales respuestas de los humedales costeros a estos disturbios, Lugo recomienda que el enfoque deba apuntar a

las características de resistencia, productividad, reciclaje de materiales, composición de especies y el desarrollo estructural en escalas de tiempo y espacio para dilucidar respuestas a corto y largo plazo. Es preciso identificar y entender las consecuencias a corto plazo que las fuerzas del disturbio causan al ecosistema para luego poder conocer las consecuencias a largo plazo atribuibles a ese disturbio.

Esta investigación daría las bases para determinar la calidad del bosque en ambas áreas mitigadas del lugar donde se realiza la investigación, determinando la productividad, y la estructura, así como la calidad del agua y los nutrientes del suelo. De esta forma se podría tener datos precisos y la información necesaria para conocer el estado y el éxito de aquella especie arbórea usada en ambas mitigaciones del lugar de estudio. Esto nos daría las herramientas necesarias para hacer recomendaciones, considerar medidas de restauración y mitigación adecuadamente antes de poner en práctica algún proyecto o mejorar las mitigaciones existentes. Además determinar la estructura y productividad de los árboles en ambas zonas mitigadas de la Ciénaga podría servir de base para llevar a cabo estudios en otros lugares dentro de la Ciénaga, el Estuario, en otros humedales e inclusive otras zonas mitigadas.

Pregunta de investigación

¿Qué especie arbórea ha tenido mayor estructura y productividad en el área mitigada de la Ciénaga Las Cucharillas?

Meta

La meta principal de esta investigación es evaluar la estructura forestal y la producción de hojarasca de tres especies arbóreas y la calidad del suelo y agua de las mitigaciones realizadas en los terrenos de la Ciénaga Las Cucharillas concedidos al Sistema Universitario Ana G. Méndez, por parte de Bacardí Corporation en un periodo

de seis meses para determinar la efectividad de las mitigaciones realizadas en el área de estudio

Objetivos

1. Analizar la estructura forestal (diámetro, altura y área basal) de las especies arbóreas seleccionadas de ambas mitigaciones
2. Analizar la producción de hojarasca y otros residuos vegetales de los árboles seleccionados dentro de las mitigaciones por un periodo de seis meses.
3. Analizar cualitativamente, en ambas áreas mitigadas, parámetros químico físicos de suelo y agua
4. Establecer recomendaciones de manejo para el área mitigada.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Trasfondo histórico

Se ha proliferado el despertar de una mayor conciencia ambiental tanto a nivel mundial como a nivel local. Hemos sido testigos de innumerables eventos, gestiones y movimientos que giran a favor de proteger el ambiente y los recursos naturales. Sin lugar a dudas, en nuestra isla se han adoptado estrategias y acciones que motivan una mayor concienciación sobre la protección de nuestro ambiente. Esta necesidad surge de las acciones que han atentado en contra de nuestros recursos naturales a través de los años, dada la actividad industrial, agrícola y antropogénica.

Tales actividades generan desperdicios, que por falta de un lugar óptimo para disponer de ellos, o por falta de infraestructura, entre otras razones, ponen en peligro la flora y la fauna de ecosistemas sensibles como lo es la ciénaga. A esta situación se le suma la falta de educación ambiental de la comunidad, el desarrollo desmedido que incluye tanto al sector residencial, comercial y el industrial y situaciones como el aumento de la población cuyo producto final es la fragmentación del hábitat de especies y la pobre calidad de los recursos naturales y muy en especial la de los humedales como lo es la Ciénaga las Cucharillas.

La Ciénaga Las Cucharillas se ubica en el municipio de Cataño. El asentamiento de Cataño comenzó aproximadamente en el 1569. Este barrio de Bayamón, se le conocía en diferentes épocas por “Caño de Cataño”, “la punta de Cataño”, “El camino Real de Cataño” y “las Ciénagas de Cataño”. La punta de Cataño estaba formada por ciénagas profundas y manglares espesos de imposible penetración. Esta punta era el camino obligado para aquellos que querían llegar a la isleta de San Juan, razón por la que aumento la población y el asentamiento de diferentes poblados a

lo largo de la ruta (Batista, Morales, Diaz & Padin, 2005). Por órdenes del gobierno de turno, se desecan los humedales de Cataño, provocando un aumento de población considerable en esta zona. Por su cercanía con San Juan, se identificó un lugar apropiado para establecer residencias e industrias, y para el 1927, que se fundó el Municipio de Cataño. A finales de esta década, ya se habían establecido en este municipio cinco empresas que proporcionaban el sustento de muchos residentes. Más adelante, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de América, construyó el Caño La Malaria, que recogía las aguas de escorrentías del Fuerte Buchanan y descargarlas al mar. Este caño fue canalizado usando diques de tierra que luego, facilitó el establecimiento de viviendas mediante la invasión de éstos terrenos.

El establecimiento de estas residencias carece de los permisos de construcción apropiados, se distinguen por la ausencia de sistema sanitario y alcantarillado y es evidente la pobre disposición de desperdicios sólidos. Estas situaciones antes descritas tienen como resultado que éstos residentes descarguen directamente sus desperdicios sólidos y sanitarios a la ciénaga y además, los desperdicios sólidos son depositados directamente a los cuerpos de agua y terrenos asociados a este ecosistema estuarino.

Históricamente, los humedales fueron secados para poder usar estas tierras para otros fines, lejos de la realidad del humedal, entre estos la agricultura, el establecimiento de la industria, la urbanización entre otros. La urbanización de la costa impacto a los humedales costeros de las siguientes formas: Convirtió algunos humedales en áreas críticas para las zonas urbanas o desarrollos turísticos, canalizó ríos y estableció obras de control de inundaciones, represó los ríos de mayor caudal, erosionó las laderas en las áreas de captación de agua para los humedales, drenó los humedales por bombeo y control de salinidad con diques , eliminó o degrado las defensas naturales contra el embate del oleaje, por eliminación o degradación de las

dunas de arena y los arrecife de coral, contamina las aguas con sustancias químicas exóticas de alta toxicidad, aumento el volumen de las aguas usadas que llegan a los humedales, aumento el volumen de las lagunas y los estuarios a causa de dragados y extracción de arena, fragmento hábitats a causa de la expansión urbana. (Lugo, 2006).

La Ciénaga ha sido degradada debido al pastoreo, rellenos, desarrollo urbano e industrial, construcción de canales y charcas y el intercambio de aguas entre el Caño y el mar. Otra de las razones que complementa el cuadro de la degradación es la construcción de residenciales, comunidades emergentes del sector Cucharillas y Puente Blanco y el impacto de la construcción de carreteras como la PR-5, PR-165 y la PR- 869 (JCA, 2007). Desde el 1962 hasta el 2003 se han perdido aproximadamente el 49% de las áreas verdes del Barrio Palmas, pérdida que responde, en su mayoría al uso industrial (Batista, Morales, Diaz & Padin, 2005).

La topografía y la geología de Cataño provocan que este municipio sea susceptible a inundaciones. Actualmente, más de la mitad de la población del municipio vive en una zona inundable, ya sea por marejada ciclónica o por escorrentías de las aguas de lluvia. Estos eventos de inundación, se han minimizado gracias a la alteración de la cuenca hidrográfica a la que pertenece la Ciénaga Las Cucharillas. La Ciénaga era bañada por las aguas del Rio Bayamón y el Rio Hondo, pero como medida del control de inundaciones tanto en Cataño como en Toa Baja, se decide canalizar el rio y relocalizar su desembocadura. Este evento ha motivado que tanto la hidrología como el estado natural del humedal sean alterados. Esto evita que el flujo natural del agua nutra la ciénaga de forma constante y el movimiento de éstas hacia el mar, ocasionando problemas serios de inundaciones en las comunidades.

En el año 1992, el gobierno de turno, designa al Estuario de la Bahía de San Juan como uno de importancia nacional y reconoció la necesidad que éste se perpetuara a generaciones futuras. Se crea un programa que designa al Estuario de la

Bahía de San Juan, la protección, restauración, mejoramiento de la calidad del agua, los sedimentos y los organismos vivos (Sotomayor, 2007). Además, Sotomayor expone que en años subsiguientes, se llevaron a cabo investigaciones en diferentes áreas del estuario. Se demostró además, que la presencia de contaminantes afecta de forma adversa la calidad del Estuario y de la vida que en éste se sostiene.

El 27 de agosto de 2004, la Gobernadora de Puerto Rico firmó la Orden Ejecutiva (OE-2004-49), para ordenar a la Junta de Planificación (JP), la designación de un Área de Planificación Especial donde se delimite y establezca la Reserva Natural de la Ciénaga Las Cucharillas, su zona de amortiguamiento (JCA, 2007). Otro evento que ha cambiado el panorama de la Ciénaga, ha sido la transferencia de diez cuerdas de terreno que pertenecen a la Ciénaga Las Cucharillas, de parte de Bacardí Corporation a la Universidad Metropolitana. Esta transferencia surge como un acuerdo entre dicha empresa con la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) por incumplir con el permiso de descarga, bajo la Ley de Agua limpia (CWA, por sus siglas en inglés). El objetivo de la donación de estos terrenos recae en que se preservaran y se restaure el ecosistema para el disfrute general.

Toda esta reseña histórica evidencia que a lo largo de la vida de este ecosistema, se demuestra la degradación y la mutilación que ha sufrido la ciénaga Las Cucharillas. Es evidente el esfuerzo y el compromiso que tienen muchos ciudadanos de este municipio, cuyas acciones giran a mejorar la calidad de vida de los residentes, tanto así como la del humedal. Es imperativo que a estas acciones se sumen investigaciones científicas que evidencien la necesidad de atender y corregir el daño que ha sufrido la ciénaga. El desarrollo de estas investigaciones proporciona los datos necesarios y la evidencia suficiente para aplicar las estrategias de manejo y la restauración adecuada de este recurso, para el bien de este valioso ecosistema.

Marco Teórico

Al desarrollar el marco histórico que describe la ciénaga Las Cucharillas, hemos determinado que en efecto, la degradación y las acciones que han alterado y contaminado a este ecosistema son el motor que dirige y encamina esta investigación y nos brinda la oportunidad de determinar cómo realmente se puede contribuir con el esfuerzo de conservar y manejar este humedal apropiadamente.

Puerto Rico ha sufrido cambios significativos en el uso de la tierra, transformándose de una isla boscosa a una agrícola y finalmente a una urbana (Lugo 2006). Según Lugo, los humedales costeros experimentaron cambios dramáticos a medida que cambiaba el uso de la tierra. Representan una alta diversidad de sistemas ecológicos, dominados por pocas especies vegetales pero alta diversidad estructural, funcional y animal. Los humedales costeros son impactados periódicamente por eventos naturales agudos como huracanes, inundaciones, incursiones marinas o movimientos masivos de roca y sedimentos.

Caracterización de los Humedales

Los humedales son ecosistemas de poca profundidad en el cual el suelo se encuentra saturado o sumergido al menos, gran parte del año. Los humedales tienen vegetación que está adaptada a crecer bajo condiciones saturadas. Estos ecosistemas sostienen una alta biodiversidad y productividad biológica además constituyen un hábitat crítico para la reproducción de especies y aves migratorias (Cunningham & Cunningham, 2006). El autor establece que a pesar de que los humedales ocupan sólo el 5% del territorio de los Estados Unidos, el Servicio de Pesca y Vida Silvestre (FWS, por sus siglas en inglés), estima que un tercio de todas las especies en peligro pasan gran parte de su vida en los humedales. Han sido considerados como un obstáculo para el desarrollo y se ha promovido su desecación indiscriminada (Miamone, Aliphath,

Ramirez, Valdez & Macias, 2005). Los humedales o pantanos forestados son únicos donde las mareas modulan el intercambio de agua, nutrientes, sedimentos y organismos entre ecosistemas costeros intermareales tropicales. También los ríos y sus cuencas bajas vinculan la descarga de sedimentos y nutrientes desde el continente, modulando la productividad y biogeoquímica de estuarios tropicales, acoplándose esta dinámica con ecosistemas vecinos (Yanez, 1998).

Los humedales tienen la capacidad de retener agua de escorrentía, reducen y controlan las inundaciones, filtran y hasta purifican el agua mientras las bacterias y las plantas absorben los nutrientes y los contaminantes del agua que llega al humedal. Estabilizan el terreno mediante el mantenimiento de drenaje y el control de sedimentación de las zonas costeras. Actúan como zona de amortiguamiento en contra de los contaminantes del agua proveniente de los fertilizantes usados en las actividades agrícolas. Los humedales además, son lugares de almacenamiento de material genético vegetal, sirven de áreas de anidaje y alimentación de especies costeras, provee áreas para la recreación pasiva y actividades turísticas por su alto valor estético natural y más importante aún, son lugares óptimos para la educación e investigación científica.

Los humedales tropicales representan regiones de notable biodiversidad y delicado equilibrio ecológico (Miamone, Aliphath, Ramirez, Valdez & Macias, 2005). Tienen paradójicamente una gran capacidad de acomodación al mismo tiempo de su alta fragilidad como hábitat crítico, lo cual les permite contender con éxito frente a la variabilidad ambiental de periodo-corto que está induciendo el cambio climático global (Yanez, 1998), además han sido usados como sistemas de tratamiento biológico por la capacidad de purificación y su atractivo a la industria de proveer una alternativa de bajo costo y poco mantenimiento como método para el tratamiento de drenaje industrial y doméstico (Miao, Chen, Delaune & Jugsujinda, 2007).

La mayor parte de los humedales se dan habitualmente bajo tres situaciones topográficas. Muchos se desarrollan sobre depresiones en tierras altas hasta lagunas y charcas, éstos forman los humedales de depresión. Otros humedales se desarrollan a lo largo de las orillas poco profundas y periódicamente inundadas de ríos o arroyos, constituyendo los humedales de ribera. Un tercer tipo de humedal se presenta a lo largo de áreas costeras de grandes lagos y mares, conformando los humedales costeros. La diferencia de estos tres tipos de humedales es la dirección del flujo de agua. En los humedales de depresión el flujo de agua en gran parte es vertical. En los humedales de ribera, el flujo es unidireccional, mientras que en los humedales costeros el flujo se da en dos direcciones. El flujo de agua es el responsable de la carga y descarga de nutrientes y sedimentos.

Los humedales costeros agrupan numerosas comunidades que abarcan manglares, marismas, selvas y palmares, inundables, entre otros. Esta gran variedad de composiciones y estructuras forman un mosaico a lo largo de gradientes micro topográficos, donde variaciones en salinidad e inundación resultan en composición y dinámicas distintas (Flores, Moreno, Agraz, Lopez, Benitez & Travieso, 2007).

Los manglares son ecosistemas de las regiones tropicales y subtropicales con grandes capacidades de retener contaminantes provenientes en los desechos de agua. Pueden resistir las tensiones ambientales como la alta concentración de nutrientes y los metales pesados (Miao, Chen, Delaune, & Jugsujinda, 2007). Los manglares son considerados sistemas altamente productivos pero hay diversos factores que afectan su estructura y su productividad (Zaldivar, Herrera, Coronado & Alonzo, 2004). Estos factores podrían ser hidrológicos, la dinámica de los nutrientes, el tipo de sedimento y la salinidad. La productividad del manglar se puede cuantificar a través de la caída de hojarasca (Orihuela, Tovilla, Vester, & Alvarez, 2004). La productividad del manglar está entre las mayores de los ecosistemas costeros (Lema & Planía J., 2007)

Por la naturaleza de isla, Puerto Rico posee una extraordinaria variedad de humedales de alto valor ecológico. Según el reglamento de calidad de agua de la Junta de Calidad Ambiental (JCA), las aguas que cubren el humedal son de gran valor, y que las características de estos ecosistemas deben preservarse, no alterarse. Dentro de los humedales de nuestra isla, evidentemente se encuentran las ciénagas.

Clasificación de los Humedales

El sistema oficial de clasificación de los Estados Unidos es el desarrollado por Cowardin et al (1979), que tiene como propósito asignar un tipo de humedal a una categoría específica dentro de un sistema jerárquico, basado en interpretación de fotografía aérea y/o observaciones a nivel de campo (Abarca, 2006). La ventaja de usar este sistema de clasificación, según Abarca, es su aplicación generalizada en cualquier sistema y su posible regionalización de acuerdo con las características específicas. La dificultad que presenta es que el uso práctico de su terminología resulta ser complicada para personas con y sin conocimiento en el área de humedales.

Los humedales se clasifican en cinco grandes sistemas (Cowardin, Carter, Golet & La Roe, 1979):

- Marino – océano abierto sobre la plataforma continental
- Estuarino – ambiente mareal, profundos o someros con acceso al mar de manera esporádica o parcialmente obstruido, y que por lo menos ocasionalmente recibe escurrimientos de agua dulce.
- Fluvial (rivereño) – ambiente contenido dentro de un canal mas o menos profundo, con dos condiciones: la salinidad no debe exceder 0.5 ppm y no incluye humedales dominados por árboles, arbustos o emergentes perennes.

- Lacustre – humedal situado en una depresión topográfica, cuya vegetación arbórea, arbustiva o de emergentes perennes no cubra más del 30% del área, y que tenga una superficie total mayor a 8 hectáreas.
- Palustre – humedal que no recibe la influencia de las mareas, dominado por árboles, arbustos y/o emergentes perennes.

Importancia de los humedales

Usualmente se asocia a los humedales como lugares que produce mal olor, morada de mosquitos o insectos peligrosos, o muchas veces son considerados áreas que deben ser secadas para usos productivos como el cultivo, vertederos, industrias y carreteras, tal y como ha sucedido en la ciénaga Las Cucharillas. Esto estriba en que no se le dé a los humedales el destacado valor ecológico, económico y ambiental que poseen y merecen. Los humedales brindan numerosos servicios ambientales y económicos a las poblaciones humanas que viven a su alrededor (Miamone, Aliphat, Ramirez, Valdez & Macias, 2005).

Los humedales son lugares de recarga de aguas subterráneas, retienen el agua de lluvia, la escorrentía superficial. Muchos funcionan como embalses naturales para el control y reducción de inundaciones (Trulio, 2003). Los humedales actúan como sistemas filtradores de la contaminación del agua, teniendo la capacidad para filtrar los metales pesados y reducir el pH. Contribuyen a la economía, pues además de servir de lugar de recreación. Los sedimentos pueden acumular varios compuestos durante su proceso de formación y absorción. Pueden servir como una herramienta importante para evaluar la contaminación de ecosistemas acuáticos (Lepane, Varvas, Vitak, Alikasaar & Heinsalu, 2007), además tienen la capacidad de retener contaminantes como los metales pesados (Amusan & Adeniyi, 2005)

Los humedales sirven de zonas de anidación de especies y hábitat de especies migratorias. Albergan una gran biodiversidad de especies. Muchas especies dependen

de los humedales para reproducirse, obtener alimento y poder desovar. Muchos humedales sirven de albergue de especies que provienen de otros ecosistemas, por lo que motiva aun más la conservación y el buen manejo de este preciado ecosistema. Gran parte de estas especies llegan al humedal para protegerse de fenómenos atmosféricos o por migración.

En la zona costera se puede observar la problemática del cambio global y la vulnerabilidad de los ecosistemas. Los humedales costeros y otros ecosistemas asociados a la costa, muestran pérdida de hábitats críticos por variación en el nivel del mar, erosión, entre otros eventos como efecto al cambio climático global, tema que hoy día nos preocupa por sus posibles efectos. Estos ecosistemas de la zona costera se caracterizan en comparación con ecosistemas de otras zonas geográficas, por su intenso dinamismo (Comin, Mendez, Romero, Hernandez, Martinez & Chacon, 1999).

Los humedales son lugares de alta productividad biológica por su riqueza y variedad de nutrientes. Regulan la calidad de la esorrentía y tiene un efecto medible en los fenómenos globales. Los humedales costeros boscosos merecen más atención ecológica, particularmente en términos de sus nutrientes y en la dinámica del carbono y agua. Los nutrientes regulan la acumulación de biomasa en el bosque y la estructura de las hojas (Lugo, Brown & Brinson, 1988). Además los humedales son lugares óptimos para llevar a cabo actividades recreativas como la caza, la pesca, observación de aves y otros elementos de la naturaleza y paseos en kayak.

El impacto humano sobre los humedales

Mucha ha sido la evidencia presentada que describe la magnitud y el grado de destrucción en el que se ha sometido a los humedales, tanto en Puerto Rico como a nivel global. Dada la topografía accidentada de Puerto Rico, la mayor parte de la actividad humana se ha llevado a cabo en las llanuras costaneras (Lugo, 2006). Lugo

establece que los manglares y humedales de *Pterocarpus officinalis* también fueron transformados en algunos casos para uso agrícola o se talaron para producir carbón. Muchos de los humedales han sido afectados por actividades humanas, quienes han alterado o cambiado la forma del humedal o deteriorado el funcionamiento del humedal (Contreras & Warner, 2004).

De antemano, hemos descrito todas las acciones que han atentado en contra del bienestar de este ecosistema. Gran parte de los humedales se han drenado o desecado para utilizar los mismos para otros fines como el establecimiento de hospedederías, recreación, actividad industrial y desarrollo de áreas urbanas. (Contreras & Warner, 2004). La agricultura ha sido uno de los factores por los cuales los humedales han sido desecados ya que estas tierras son altas en nutrientes del suelo. Algunos cambios causados por la urbanización son responsables de cambios en el funcionamiento de algunos humedales costeros (Lugo, 2006).

Los humedales son vistos como una desventaja económica por los propietarios de las tierras y por gobernantes ya que no proporcionan ingresos económicos (Cunningham & Cunningham, 2006). En muchas partes, los humedales son considerados como tierras sin valor. Según el autor, muchos humedales que aun sobreviven, están contaminados. La actividad agrícola aporta grandes cantidades de nitrógeno y fosforo. La concentración de herbicidas, pesticidas y metales pesados en el agua destruye y debilita la fauna que en ella habita. Con la pérdida de los humedales, pueden verse afectados aspectos económicos, sociales y ambientales. Los humedales costeros aumentaron en cobertura debido al abandono y deterioro de las obras de drenaje que obstruían sus aportes de agua. Al reducirse o abandonarse al actividad agrícola aumentaron las escorrentías de aguas superficiales y subterráneas a los humedales (Lugo, 2006). Dado a que el área de los humedales aumento desde entonces es que debemos dirigir nuestro esfuerzo por mantener en óptimas condiciones

a este ecosistema; debe ser uno intenso y constante para poder disfrutar de sus bondades.

Restauración de Humedales

El deterioro de los ecosistemas costeros es el resultado de un conjunto de factores entre los que se incluye la urbanización de las costas, el represamiento de las aguas de escorrentía para uso humano y agrícola, intensificación del comercio, actividades industriales, y el desarrollo y explotación de especies (Medina, 2006). Cumplen funciones importantes y únicas de un gran sistema ya que hay una conectividad entre la parte terrestre del humedal, la línea de la costa y la zona marina.

El deterioro o el mal funcionamiento de alguno de los componentes del humedal a mediano y largo plazo se verán reflejados en otro de sus componentes. Para poder frenar el deterioro de los humedales, muchos países han generado políticas de conservación y protección a favor de los humedales, dependiendo del desarrollo económico y social de cada país (Miamone, Aliphat, Ramirez, Valdez, & Macias, 2005).

La restauración de humedales se ha vuelto una necesidad hoy día para conservar la diversidad biológica que estos albergan. Se sabe que es prácticamente imposible restablecer el 100% de los humedales a su estado original. La restauración es el retorno de un ecosistema a una condición aproximada a las anteriores a un disturbio, lo que involucra reparar el daño ecológico, estructural y funcional. La restauración de un humedal beneficia las aves acuáticas ya que mejora la calidad del hábitat y la cantidad de lugares disponibles para alimentación, reproducción, y descanso (Trama, 2005).

La restauración de los humedales implica la recuperación no solamente de la estructura y la composición de la vegetación, sino del funcionamiento hidrológico. Implica la recuperación de las entradas y salidas de agua, de la magnitud y

temporalidad de la inundación y de la salinidad acompañante (Flores, Moreno, Agraz, Lopez, Benitez & Travieso, 2007). Otro término usado en la restauración de humedales es la mitigación. Mitigar es reducir el daño ambiental al evitar, minimizar, y compensar por actividades que deterioran o destruyen algún recurso (Trulio, 2003). Es llevar a cabo una acción con el objetivo específico de compensar por el daño o destrucción a otra área del humedal.

La distribución de diferentes tipos de humedales costeros, las distintas especies que los componen y su grado de desarrollo están condicionados, en gran medida, por el hidroperiodo y la salinidad del agua intersticial. El hidroperiodo es el patrón resultante de la frecuencia y la duración de inundación de cierta área, lo cual determina las condiciones de oxidación / reducción. El patrón de inundación depende de la frecuencia y la duración de las inundaciones provocadas por las mareas, los ríos y los escurrimientos de la región, así como de las aéreas que se inundan como resultado de las fluctuaciones del nivel freático y de la acreción (Flores, Moreno, Agraz, Lopez, Benitez & Travieso, 2007).

Según éstos investigadores, las condiciones impuestas por el hidroperiodo son muy importantes para el mantenimiento de la estructura y el funcionamiento de estos ecosistemas, debido a que crean condiciones físicas y químicas únicas que afectan varios factores como la anaerobiosis del suelo, la acumulación de materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes, la riqueza y composición de especies, y la productividad primaria. El componente biótico modifica tanto la hidrología como la composición química del suelo. Cuando se modifican las condiciones hidrológicas, la biota puede responder con cambios masivos en la composición y la riqueza de especies, así como en la productividad. El hidroperiodo está relacionado con las pequeñas variaciones en el relieve o topografía. El conocimiento de la micro topografía de los humedales permite determinar la distribución de los diferentes tipos de humedales, las áreas potenciales

de restauración, así como la ampliación o creación de nuevas áreas para determinadas especies.

La salinidad es un factor que también ayuda a explicar los patrones de distribución vegetal y es fundamental que se tome en cuenta en la restauración de humedales costeros. En general, los trabajos de restauración de manglar se han enfocado principalmente en la reforestación y restauración de la hidrología original.

La hidrología es una de las variables más importantes para la restauración de los humedales costeros y para el diseño de humedales semi naturales. Las condiciones hidrológicas adecuadas permitan un buen funcionamiento biológico y químico. Las condiciones hidrológicas dependen a su vez del clima, de los patrones estacionales de entrada y salida de agua hacia y desde el humedal. Cuando el diseño hidrológico no es el adecuado, el humedal no funciona.

Descripción de especies arbóreas

Para desarrollar este estudio escogimos tres especies arbóreas distintas presentes en ambas áreas mitigadas. Estas especies son: *Pterocarpus officinalis*, *Annona glabra* y *Thespesia populnea*. La inundación periódica y estacional de los pantanos tropicales genera cierta tensión sobre las especies de árboles que viven en este ecosistema. Las especies arbóreas que habitan en estos ecosistemas son tolerantes a medioambientes inundados (Urquhart, 2004). Estas especies tienen todos los atributos para poder desarrollarse dentro del área mitigada.

El *Pterocarpus officinalis* es conocido en Puerto Rico como el Palo de Pollo. Es un árbol siempre verde que alcanza unos 40 metros de altura y de 60 a 90 cm de diámetro a la altura del pecho cuando alcanza su madurez. El palo de pollo crece en las tierras pantanosas costeras periódicamente inundadas, incluyendo los pantanos de agua fresca y salobre. En el Caribe, es la especie arbórea más importante de los

humedales de agua dulce (Eusse & Aide, 1999). Posee hojas compuestas y alternadas y flores amarillas. Sus semillas son aplanadas, de forma esférica irregular rodeadas por una cubierta que les permite flotar y toleran el agua salada (Rivera, Aide & McMillan, 2002). Crece desde la latitud 20° N hasta la 2° S. En Puerto Rico el palo de pollo crece en las zonas de vida forestales subtropical húmeda, subtropical muy húmeda y subtropical pluvial. Esta especie se encuentra por lo menos en 15 localidades totalizando unas 240 hectáreas. El más grande de los rodales se encuentra en Humacao. Entre las especies forestales asociadas al palo de pollo está la *Annona glabra*, ambos están adaptados a los ecosistemas pantanosos costeros inundados periódicamente. El palo de pollo de mayor tamaño registrado en Puerto Rico mide 274 cm de diámetro y 20.5 m de altura, sin embargo, esta especie no alcanza un gran tamaño en la isla (Weaver, 1997).

La *Thespesia populnea*, conocida como la emajagüilla, es un arbusto que habita en bosques costeros. Provee protección contra el viento, el salitre y los rayos del sol. Es un árbol de fácil crecimiento y puede ser considerado para la reforestación y proyectos de forestación urbana. Es un árbol siempre verde que puede alcanzar de 6 a 10 metros de altura. Sus hojas son de verde brillante en forma de corazón, se tornan amarillas antes de caer al suelo. Apareta ser nativo de la región tropical del viejo mundo (Parrotta, 1994). Este árbol se ha naturalizado en climas tropicales a lo largo de todo el mundo desde el Caribe hasta África. En la Florida y en el Caribe fue introducido como ornamental. Resiste vientos, salitre y crece muy bien en suelos arenosos y salinos.

Se propaga fácilmente, crece muy rápido y tolera condiciones como la temperatura. Además puede desarrollarse en suelos con alguna inundación ocasional. La flor es en forma de campana, de color amarillo pálido que se torna purpura. Abren y cierran el mismo día. Este árbol comienza a florecer desde el primer año de vida en

adelante. Su fruto es color gris oscuro, redondos pero aplanados, levemente arrugados, secos miden alrededor de 3cm, de diámetro y 1.90 cm de alto. Dentro del fruto posee semillas livianas que pueden flotar tanto así como su fruto. Produce una hojarasca abundante compuesta de hojas, capsulas de semillas y frutos. Crece cerca de 0.5 – 1.5 metros por año, hasta los siete años, donde el crecimiento disminuye. El diámetro de su tronco puede crecer entre 1 -3 cm por año. (Friday & Okano, 2006)

El *Annona glabra* se conoce comúnmente como anón de agua, anón de pantano o corazón. Es un árbol que tolera suelos inundados por lo que tiene una amplia distribución geográfica y es nativo de la América tropical (Mielke, Matos, Couto, F. de Almeida, Gomes & Oliveira, 2005). Tiene adaptaciones físicas para crecer en su hábitat. La mayor resistencia al agua se encuentra en las raíces y probablemente en el área de transición entre el tronco y las raíces (Zotz, Tyree & Patino, 1997). Es un arbusto que crece de 3 - 8 metros de altura y puede alcanzar un diámetro de 5 – 30 cm. Su follaje es lustroso, sus hojas son simples y alternas, de 7 a 17 cm de largo y de 3 a 8 cm de ancho, de forma elíptica. Sus frutos son en forma de globo, color verde brillante que al madurar se tornan amarillos. Tanto la fruta como la semilla flotan, adaptación que le permite sobrevivir en medio ambiente inundado, tolerando sobrevivir en agua dulce, salobre o salada. Esta especie puede comportarse como un mangle de agua dulce ya que puede sobrevivir tener sus raíces sumergidas durante marea alta o inundaciones prolongadas de agua dulce. Sus semillas requieren de una alta humedad en el suelo y exposición directa de luz solar, condiciones que se esperan se encuentren en los cauces de los ríos, humedales abiertos o humedales alterados y en el bosque tropical lluvioso.

Es una de las especies invasoras de los trópicos. Su tolerancia a medios salinos y su inmersión en medio ambientes inundados, le permite hasta invadir los bosques de humedal formados por *Melaleuca*. El hábitat preferido de esta especie es el pantano

costero, los bordes interiores de manglares y las orillas de los arroyos a elevaciones bajas (IUCN, 2006).

Productividad de un Ecosistema

Para el óptimo aprovechamiento de un recurso natural es de gran importancia, conocer su productividad. La productividad primaria neta (PPN) es la diferencia entre la fotosíntesis total (productividad primaria bruta) y la respiración total de las plantas en un ecosistema. (Quinto, 2007) La producción primaria neta es definida actualmente como el total de materia orgánica producida durante un intervalo específico de tiempo en un ecosistema. Quinto establece que por medio de ésta, el material orgánico que se almacena en un área y en un periodo de tiempo determinado, entre estos el incremento en biomasa, además materiales reproductivos, material radicular y asociaciones como micorrizas que benefician a todos los organismos y al ecosistema en general. La productividad de una plantación es un concepto ecológico que hace referencia a la tasa de formación de materia orgánica conformada por todos los componentes del sistema y se encuentra directamente relacionada con la especie y las características ambientales del sitio (Martiarena y otros, 2002). La productividad es la materia orgánica producida por las plantas o biomasa en un área determinada por unidad de tiempo y la tasa a la cual dicha materia orgánica se crea por fotosíntesis (Vargas & Varela, 2002). Se expresa en términos de energía acumulada o en términos de la materia orgánica sintetizada.

Una de las formas más sencillas y económicas para medir la productividad en los ecosistemas terrestres es a través de la producción de hojarasca (Vargas & Varela, 2002). La hojarasca es el depósito de diferentes materiales provenientes de distintos estratos de vegetación, como hojas, ramas, inflorescencia, frutos, pero en los ecosistemas forestales la fracción más importante corresponde a las hojas. La

hojarasca vegetal es muy importante, puesto que produce una especie de abrigo orgánico sobre la superficie de los suelos forestales dando por resultado un microclima edáfico peculiar y proporciona las condiciones adecuadas para un espectro más amplio de organismos (Prause, Arce de Caram & Angeloni, 2003).

Las estimaciones precisas de productividad primaria neta constituyen la base fundamental para el entendimiento referente a la capacidad de almacenamiento de biomasa en el ecosistema, además son importantes por su relación directa con el incremento de CO₂ atmosférico, debido al papel que tienen los bosques como sumideros y reservorios de carbono (Quinto, 2007). Según Quinto, la producción de hojarasca representa un componente fundamental de la productividad primaria neta en ecosistemas arbóreos en un estado dinámico estable. La caída de hojarasca ha sido utilizada como una medida de la productividad primaria neta.

La producción de hojarasca representa entre un 20 y un 30% de la productividad neta total y está regulada fundamentalmente por procesos biológicos y climáticos, aunque también son relevantes la topografía, condiciones edáficas, especie vegetal, edad y densidad del bosque (Sanches, 2003). La hojarasca foliar es la principal fuente de nutrientes del suelo forestal y representa el 80% del total de nutrientes retornados al suelo por los detritos del árbol. La cantidad y naturaleza de la hojarasca tienen una importante relación con la formación del suelo y el mantenimiento de su fertilidad y la cuantificación de su producción naturaleza es una importante aproximación para la comprensión de los bosques y del reciclaje de nutrientes. (Ramirez, 2007).

La caída de hojarasca es un proceso que se encuentra relacionado con las variaciones estacionales y su conocimiento es importante para interpretar los fenómenos de reciclaje de nutrientes, debido a los flujos asociados a la caída, a los procesos de acumulación de materia orgánica en el suelo y a la descomposición (Martirena, y otros, 2002). Está regulada fundamentalmente por procesos y factores

biológicos y climáticos, aunque también son relevantes la topografía, condiciones edáficas, especie vegetal, edad y densidad del bosque. (Prause, Arce de Caram & Angeloni, 2003), además es importante en el funcionamiento del ecosistema, ya que al acumularse en el suelo como un mantillo, sirve de hábitat y alimento a muchos organismos y microorganismos que conforman una red trófica compleja. También es clave como una vía de transferencia de nutrientes y energía entre las plantas y el suelo (Vargas & Varela, 2002); (Davis, Childers & Noe, 2006).

La productividad es una propiedad de los ecosistemas. Es necesario considerar como la riqueza de especies puede afectarla y así lograr un mejor entendimiento de la relación entre la productividad primaria y la dinámica de poblaciones y comunidades. La productividad está influenciada principalmente por factores climáticos como la precipitación, temperatura y humedad (Vargas & Varela, 2002).

Las hojas de árboles en humedales de agua dulce y en humedales de agua salada, muestran diferencias. Hay una pequeña diferencia en la biomasa de la hoja. El índice del área de las hojas es más pequeño en sistemas de agua salada que en las de agua dulce. La hojarasca se acumula más en sistemas de agua dulce que en los sistemas de agua salada (Lugo, Brown & Brinson, 1988).

Factores ambientales como salinidad, descargas de agua subterránea, lluvias, tormentas y variabilidad de esto con respecto al patrón climático de la región son de importancia en la estructura de la vegetación y en la producción de hojarasca. Para determinar la estructura y la productividad se usan los datos de la hojarasca colectados (Zaldivar, Herrera, Coronado & Alonzo, 2004). La productividad es más alta cuando la salinidad es baja. La productividad también está controlada por la turbidez del agua y la disponibilidad de nutrientes. La disponibilidad de nutrientes es uno de los factores que regulan la producción primaria (Hernández & Klaus, 1989-1990).

La acumulación de hojarasca en el suelo, conjuntamente con la materia orgánica proveniente de la descomposición de las raíces, constituye la fuente esencial de energía y bioelementos para la micro flora y la fauna edáfica y esta interacción entre la vegetación y el suelo se manifiesta en el proceso cíclico de entrada y salida de nutrientes en un ecosistema (Sanches, 2003). La productividad en los ecosistemas terrestres y en humedales se limita por la disponibilidad del Nitrógeno y Fósforo y en ocasiones Potasio en los sedimentos (Morse, Megonigal & Walbride, 2004)

La producción y descomposición de hojarasca puede estar afectado por la fragmentación (Palacios, 2002). La fragmentación de un hábitat es el proceso donde un área de hábitat grande y continua es transformada en una serie de parches remanentes más pequeños aislados entre si y cada uno estructuralmente diferente al original. Según Palacios, la producción y descomposición de hojarasca son afectadas por estos cambios debido a que al aumentar la velocidad del viento, aumenta la caída de hojarasca, al aumentar la tensión hídrica, aumenta la cantidad de hojarasca, y los cambios micro climáticos pueden afectar la producción y descomposición de la hojarasca.

La descomposición de hojarasca puede durar desde unos días a unas pocas semanas y es responsable por mantener la pérdida de masa y la liberación de materiales como el carbono, nitrógeno y fósforo al ecosistema. El proceso de producción de hojarasca es un importante fuente de nutrientes y fijación de carbón en el ecosistema de humedal. La degradación biológica de las hojas en humedales puede ser estimulado por el proceso físico de lixiviación que resulta en la rápida y disponible fuente de energía o elementos como el fósforo y el nitrógeno (Davis, Childers & Noe, 2006). La descomposición de hojarasca es más alta en ecosistemas salados que en los bosques de agua dulce (Lugo, Brown & Brinson, 1988).

Los manglares son formaciones vegetales que presentan su más alto grado de expresión en la zona costera tropical y subtropical, alcanzando su máximo desarrollo estructural en la región ecuatorial, donde pueden encontrarse árboles hasta de 40 a 50 m de altura y más de 1m de diámetro. Los manglares como ecosistema presentan una tasa de productividad primaria bruta muy alta y constituyen la base del continuo flujo de exportación e importación de material orgánico y nutrientes hacia y desde ecosistemas vecinos lo que ha valido para considerarlos ecosistemas abiertos. Entre el 20% y 40% de su productividad se convierte en hojarasca (hojas, flores, semillas, ramas y estipulas) que cae en al medio (Felix-Pico, Quinonez , Hernandez & Flores, 2006). Estos bosques de manglar dominan aproximadamente un 75% de la línea de costa en todo el mundo. Se localizan entre los 30 N y los 30 S (Zaldivar, Herrera, Coronado & Alonzo, 2004). Se caracterizan por el alto grado de tolerancia a la salinidad y a los sustratos inestables (Lema & Plania, 2007); ambos establece que la productividad de estos ecosistemas están entre los más altos del mundo, pero depende del tipo de bosque de manglar y factores limitantes físicos y biológicos.

Los manglares como ecosistema, presentan una tasa de productividad primaria bruta muy alta. Constituyen la base del continuo flujo de exportación e importación de material orgánico y nutrientes desde y hacia ecosistemas vecinos (Félix-Pico et al., 2006). También describe que entre el 20% al 40% de su productividad se convierte en hojarasca que caen al medio. La productividad de los manglares está entre las mayores de los ecosistemas costeros. Son comunidades estratégicas y vitales para las comunidades adyacentes porque a través de las corrientes de agua exportan gran cantidad de material orgánico (Lema et al., 2007). Los árboles de mangle actúan como el componente primordial del ecosistema estuarino, convirtiendo todo el conjunto en uno de los de mayor tasa de productividad primaria bruta sobre la Tierra. Constituyen la base del continuo flujo de exportación e importación de materia orgánica y nutrientes

(Garcia, 2002), además, actúan principalmente como exportadores de nutrientes y trampas de sedimento, no hay duda que su remoción afecta adversamente la calidad del agua (Fonseca, Cortes & Zamora, 2007)

El proceso de producción de hojarasca es una importante fuente de nutrientes y fijación de carbono en el ecosistema de humedal. Es el mecanismo primario en el cual los nutrientes son devueltos al suelo (Davis, Childers & Noe, 2006). La pérdida de hojas es un mecanismo importante en la conservación de nutrientes en los árboles de mangle (Wang, Wang & Lin, 2003) ; (Wang et al., 2003). La Hojarasca abundante que producen los manglares, es esencial para la regeneración de los nutrimentos en el suelo su exportación a cadenas tróficas costeras y la dinámica del carbono en sistemas litorales (Lema et al., 2007). La mayor producción de hojarasca ocurre en las épocas de lluvias, no obstante influyen factores tales como la elevada temperatura en el verano, luz solar, viento y mayor transporte de nutrientes, el viento y los nutrientes del suelo (Félix-Pico et al., 2006).

El sistema de manglar funciona a partir de los subsidios de materia (nutrientes, sedimentos, materia orgánica, agua dulce y salobre) y energía recibida (luz, temperatura, oleaje, mareas, huracanes). Estos elementos permiten producir cierta cantidad de biomasa que se expresa en términos de producción primaria la cual es variable debido a factores como latitud, estación y precipitación (Orihuela, Tovilla, Vester & Alvarez, 2004). La cantidad y calidad de los sedimentos y la materia orgánica exportada dependen del tipo de bosque de manglar, de su productividad y de factores limitantes físicos y biológicos (Lema & Plania, 2007). Pero tal parece que los mangles devuelven más materia orgánica al bosque por unidad de Nitrógeno y Calcio que los ecosistemas de agua dulce (Lugo, Brown & Brinson, 1988)

Estudios de Caso

Para poder aplicar las mejores alternativas de manejo a los ecosistemas costeros como lo son los humedales, que han sido altamente alterados por eventos naturales o por fuentes antropogénicas, es necesario que se lleven a cabo estudios que investiguen la esencia y la naturaleza de esos impactos. Se han desarrollado investigaciones tanto en Puerto Rico como a nivel mundial que representan precisamente lo que deseamos investigar y que nos pueden servir de guía y proveer varias herramientas para poder realizar nuestra investigación.

Caso #1: Cuantificación de la caída de hojarasca como medida de la productividad primaria neta en un bosque pluvial tropical en salero, Chocó, Colombia.

Este estudio fue dirigido por la Universidad Tecnológica del Chocó en Colombia para el año 2007. Se cuantificó la producción de hojarasca mediante unos 30 colectores instalados en el lugar de estudio. La hojarasca se recogió cada 15 días. Este material vegetal fue llevado al laboratorio, donde se separó en sus componentes y se pesó. Esa producción de hojarasca se relacionó con la precipitación mensual y las características de la vegetación. Como resultado, se observó una relación negativa entre el aumento en la precipitación y la producción de hojarasca y la relación entre las características de la vegetación como el diámetro, área basal y altura, con respecto a la producción de hojarasca fue baja.

La metodología que usaron estos científicos para realizar su investigación es una muy semejante a la que nosotros usaremos en la nuestra, la cual nos dio una idea clara de cómo realizar nuestro objetivo. Resultó ser una muy detallada, clara, específica y precisa. Otro de las características de esta investigación, es que define claramente los conceptos de productividad primaria y hojarasca, y las características de cada una de ellas, además de la importancia ambiental que ambas aportan al ecosistema.

Caso #2: Producción de hojarasca en un bosque semideciduo estacional en São Pedro, Pontirendaba, estado de São Paulo, Brasil

Este estudio fue desarrollado por dos científicos brasileños y dos cubanos, quienes determinaron la producción de hojarasca durante un año en el bosque semideciduo situado en el municipio de Potirendaba, Estado de São Paulo, Brasil. En esta ocasión, se utilizaron 15 colectores de 0.25 m² de superficie. Se colectó el material de hojarasca mensualmente. El material recolectado se separó en cinco componentes y se obtuvo el peso seco luego de haber secado las muestras en un horno a 80° C aunque no especifica el tiempo en el cual se dejó en el horno.

El total de hojarasca cuantificada se dividió en sus partes y se obtuvo que el 64% correspondió a hojas, 23% correspondió a ramas, 6% a elementos reproductivos, 1% correspondió a corteza, mientras que el 6% fue material no identificado. La caída de hojarasca se produjo durante todo el año y se observaron dos picos, el primero durante el mes de septiembre, correspondiente a la época seca y al stress hídrico, y el segundo pico se registró en marzo durante la estación lluviosa y se atribuye al efecto mecánico de las lluvias y los vientos intensos registrados durante esa época.

Caso #3: Productividad primaria en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia

Esta investigación fue dirigida para determinar la productividad primaria y una serie de factores relacionados con la Ciénaga Grande en Santa Marta Colombia. Esta ciénaga es una laguna costera situada en la costa caribeña de Colombia y sometida a una fluctuación fuerte de salinidad. Este es un ecosistema acuático de gran productividad primaria. Esta alta productividad está asociada a la entrada de aguas continentales ya que la productividad es más alta cuando la salinidad es baja. Se estableció en este estudio que la productividad también está controlada por la turbidez del agua y la disponibilidad de los nutrientes.

La alta productividad primaria en la Ciénaga Grande sostiene una importante pesquería artesanal. Los excedentes de la productividad primaria son exportados al mar adyacente donde subsidian una extensa zona costera.

Caso #4: Producción de la hojarasca de un bosque de niebla en la Reserva Natural La Planada (Nariño, Colombia)

Esta investigación estimó la producción de hojarasca total, de fracciones en cuatro áreas de una hectárea cada una en el bosque. La producción se relacionó con la precipitación, temperatura y humedad relativa del ambiente. La producción de hojarasca se cuantificó mensualmente entre junio y noviembre mediante la instalación de colectores distribuidos aleatoriamente en cada una de las tres áreas. El material colectado mensualmente se separó en hojas, ramas, partes reproductivas y fragmentos no identificados.

La producción de hojarasca estuvo dentro del Arango de otros bosques montanos. Las hojas aportaron el 74.4%, las ramas un 10.8%, las partes reproductivas el 10.6%, las epifitas un 3.6% y fragmentos no identificados un 0.6%. Se encontró que a una mayor humedad relativa ambiental, y temperatura, menor producción de hojarasca fue registrada. Una mayor precipitación se relaciono con la mayor producción de hojarasca.

Marco legal

Este conjunto de leyes y reglamentos, ya sean estatales y federales, conforman la política pública establecida para el manejo, la conservación y la protección de los humedales y todos sus elementos. Es importante reconocer y cumplir con esta política pública, pues provee las herramientas legales para lograr el manejo óptimo y de este ecosistema, sobre todo de la ciénaga Las Cucharillas, de forma sostenible.

Leyes estatales

Constitución del Estado Libre Asociado de Puerto Rico

En la Constitución del Estado Libre Asociado de Puerto Rico, en el Artículo VI, sección 19 establece que *“será política pública del Estado la más eficaz conservación de los recursos naturales, así como el mayor desarrollo y aprovechamiento de los mismos para el beneficio de la comunidad...”* De esta forma se garantiza que la conservación y protección de los recursos naturales es un derecho constitucional y es deber ciudadano cumplir con lo establecido en la Constitución.

Ley 416 del 22 de septiembre de 2004, “Ley sobre Política Pública Ambiental”

La ley sobre Política Pública Ambiental, ley 416 del 22 de septiembre de 2004, es la ley que responsabiliza a la Junta de Calidad Ambiental a utilizar los medios posibles para la protección del ambiente y el bienestar del hombre. Esta agencia tiene la facultad de crear, adoptar, promulgar, enmendar y derogar leyes y reglamentos para garantizar la protección del ambiente.

Esta ley de Política Pública Ambiental deroga y reemplaza la Ley Núm. 9 del 18 de junio de 1970. En adición, deroga la Ley Núm. 81 del 2 de julio de 1987, conocida como la “Ley del Fondo de Emergencias Ambientales”; la ley Núm. 297 del 21 de agosto de 1999, conocida como la “Ley del Laboratorio de Investigaciones Ambientales”; La ley Núm. 257 del 31 de agosto de 2000, conocida como la “Ley del Fondo para el Fideicomiso Ambiental de Puerto Rico y el Caribe”; la Ley 310 del 2 de septiembre de 2000, conocida como la “Ley para la Prevención de la Contaminación”; la Ley Núm. 25 del 24 de abril de 2001, conocida como la “Ley de prohibición de Ruidos”; la Ley Núm. 234 del 27 de septiembre de 2002, conocida como la “Ley del Día Nacional de la Conciencia y Reflexión Ambiental en Puerto Rico”; y la Ley Núm. 160 del 3 de julio de 2003, conocida como la “Ley para el Día de la Concienciación sobre el ruido”.

La Ley de Política Pública Ambiental promueve el bienestar general del hombre. Busca crear y mantener las condiciones bajo las cuales el hombre y la naturaleza puedan existir en armonía. Reconoce el impacto por parte del hombre sobre el ambiente, pero además, establece la importancia de mantener un ambiente óptimo y saludable y la responsabilidad ciudadana de colaborar con la conservación y el mejoramiento del ambiente.

Ley Núm. 23 del 20 de junio de 1972, según enmendada, “Ley Orgánica del Departamento de Recursos Naturales”.

La Ley Núm. 23 de 20 de junio de 1972, conocida como la “Ley Orgánica del Departamento de Recursos Naturales” es la que crea al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA). Esta Ley, faculta en este departamento la responsabilidad de vigilar y conservar las aguas territoriales, los terrenos sumergidos bajo ellas y la zona marítimo terrestre para el uso y el aprovechamiento de los mismos. Además a través de esta Ley el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales puede conceder permisos, franquicias, licencias entre otras, para usar adecuadamente los recursos naturales de Puerto Rico.

Ley Núm. 81 del 30 de agosto de 1991, según enmendada, “Ley de Municipios Autónomos”

Esta Ley dispone que sea “política pública del Estado Libre Asociado de Puerto Rico propiciar un uso juicioso y un aprovechamiento óptimo del territorio para asegurar el bienestar de las generaciones actuales y futuras, promoviendo un proceso de desarrollo racional e integral de los mismos”. Con esta ley se establecen los planes de ordenación territorial que contenga las disposiciones y estrategias para la conservación de los suelos.

Ley 314 del 24 de diciembre de 1998, “Ley de Política Pública sobre Humedales en Puerto Rico, Ley de Tierra”

Esta ley establece, reconoce y promueve la protección, conservación restauración y el manejo de los humedales, pantanos y ciénagas, como política pública. Establece las funciones de las ciénagas y la importancia de protegerlas para el beneficio del ambiente y de la ciudadanía.

Ley Núm. 241 del 15 de agosto de 1999, “Nueva Ley de Vida Silvestre de Puerto Rico”

Esta ley establece la política pública para la protección de la vida silvestre y del hábitat de éstas. Mediante esta Ley, se prohíbe la modificación del hábitat crítico esencial de las especies vulnerables y en peligro de extinción. Además crea reglamentos que garantizan la protección y conservación de estas especies y el manejo adecuado de las mismas.

Ley 49 del 4 de enero de 2003, “Ley para establecer la política pública sobre la prevención de inundaciones y conservación de los ríos y quebradas”

Esta Ley establece que es política pública la preservación de los ríos y quebradas como ecosistemas y los beneficios que éstos ofrecen. Establece el deber ministerial de vigilar, conservar y limpiar las playas y los ríos y mantener los cuerpos de agua libre aquel material que obstruya el libre fluir de las aguas.

Ley de la Zona Costanera de 1972

Esta ley incluye en su plan de manejo a los humedales, estableciendo que antes de conceder un permiso Federal o Licencia para realizar cualquier actividad en dicha zona se requiere un certificado de cumplimiento.

Leyes federales

La naturaleza política de Puerto Rico como territorio de los Estados Unidos de Norte América, está sujeto a que tanto las leyes y los reglamentos de este país sean aplicables localmente. Entre las leyes que aplican a esta investigación podemos citar:

Clean Water Act (CWA, por sus siglas en Inglés) 33 U.S.C A. § 1251-1387. Conocida como la Ley de Agua Limpia.

La Ley de Agua Limpia (CWA) se establece para la restauración y el mantenimiento de la integridad química, física y biológica de las aguas de los Estados Unidos. Se establece la protección de las aguas contaminadas además de los mecanismos para la prevención de derrames, permisos para el manejo de agua de lluvia, métodos de pre tratamiento de descargas y sistemas de descargas de aguas tratadas en los sistemas acuáticos. Esta Ley aplica a los cuerpos de agua que nutren las ciénagas. El cumplimiento de esta Ley es necesario para evitar la contaminación de los cuerpos de agua y de sus sedimentos.

Ley de agua potable (SDWA, por sus siglas en ingles) 42 U.S.C.A. § 300-300j-26

Esta ley establece los métodos utilizados para la protección del agua potable y sus fuentes y establece los estándares para el agua potable. Esta Ley provee adiestramientos, fondo para las mejoras del sistema de agua e información que lleven a la protección del agua potable.

“Coastal Zone Management Act” Act of 1972; 16 U.S.C.A. §1451-1465

Esta Ley establece que el Congreso de los Estados Unidos de Norteamérica declara política pública preservar, proteger, desarrollar, proteger o mejorar, los recursos

naturales de la zona costera y aumentar el entendimiento del ambiente costero y el manejo de la zona costera para las presentes y futuras generaciones.

“Endangered Species Act” Act of 1973; U.S.C.A. §1531-1544. Conocida como la Ley sobre especies en peligro de extinción (ESA, por sus siglas en inglés)

Esta ley establece la política pública para la protección de los ecosistemas que albergan especies amenazadas y en peligro de extinción. Se hace extensiva a las aras anidaje o refugio de las especies y las plantas.

Reglamentos estatales

Reglamento Núm. 4282 del 28 de marzo de 2003, según enmendado, “Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de la Junta de Calidad Ambiental”

El propósito de este reglamento es preservar, conservar y mejorar la calidad de las aguas de Puerto Rico. Establece los estándares de calidad de agua, las normas de calidad de agua que se deben cumplir y las clasificaciones de los cuerpos de agua. Además establece los parámetros para determinar la calidad de agua como el oxígeno disuelto, demanda química del oxígeno, demanda biológica del oxígeno, turbidez, pH, coliformes fecales y metales.

Reglamento 6765 del 11 de febrero de 2004, Reglamento para regir la Conservación y Manejo de la Vida Silvestre, las especies exóticas y la Caza en el Estado Libre Asociado de Puerto Rico, del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales.

Este reglamento se crea al amparo de la Nueva Ley de Vida Silvestre (Ley 241 de 1999), creado para regir el manejo de la fauna silvestre, regula la introducción de las especies exóticas y reglamenta la actividad de caza. Además, este reglamento establece herramientas necesarias para mitigar la modificación del hábitat natural. Dado a que en la ciénaga Las Cucharillas alberga especies vulnerables y en peligro de extinción, este reglamento es aplicable.

Reglamento para el Control de la Erosión y Prevención de la Sedimentación del 30 de diciembre de 1997

El propósito de este reglamento es controlar la erosión además de controlar y prevenir la contaminación de las aguas de Puerto Rico y demás recursos. Muchas han sido las razones por las que nuestros cuerpos de agua han sido afectados, y esta Ley brinda los mecanismos legales para controlar las actividades de remoción de corteza terrestre. Controlando la sedimentación, se previene de problemas de contaminación y sus efectos adversos a la vida y al ecosistema. Los metales pesados pueden acumularse en los sedimentos, causando serios problemas a la salud, a la vegetación y a la fauna.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

En este capítulo se detalla la metodología usada para desarrollar esta investigación. Se describe detalladamente todos los pasos del procedimiento que nos lleva a cumplir con nuestra meta, la cual es comparar la estructura forestal, la producción de hojarasca de tres especies arbóreas y la calidad del suelo y de las aguas en las mitigaciones realizadas en el área de estudio. Con los datos e información obtenidos, colaborará en gran medida a establecer planes de manejos efectivos y alternativas eficaces en beneficio de la Ciénaga Las Cucharillas.

Área de estudio

Llevamos a cabo este estudio en el área de las mitigaciones realizadas en los terrenos de la Ciénaga Las Cucharillas concedidos al Sistema Universitario Ana G. Méndez, por parte de Bacardí Corporation, en el municipio de Cataño. Colinda al norte con la carretera PR-165, al este con las comunidades Coquí I y Coquí II, al oeste con la comunidad William Fuentes y al sur con la comunidad Juana Matos (Figura 1).

Periodo de estudio

El estudio se llevo a cabo desde el día 22 de agosto de 2008 donde hicimos una inspección de las especies arbóreas y los posibles lugares donde pondríamos las canastas de colección de hojarasca. El día 28 de agosto de 2008 se colocaron las 20 canastas de colección de hojarasca. El 24 de octubre de 2008 se recolectó el material de hojarasca de las canastas y se tomaron las muestras de suelo. Posteriormente, el 29 de octubre de 2008 se determina la altura y el diámetro a la altura del pecho de cada una de las especies arbóreas.

Objetivo#1: Medir la estructura forestal (diámetro, altura y área basal) de las especies arbóreas seleccionadas de ambas mitigaciones

Identificación de las especies arbóreas.

Para poder cumplir con este objetivo, y desarrollar este estudio escogimos tres especies arbóreas distintas presentes en ambas áreas mitigadas. Estas especies son: *Pterocarpus officinalis*, *Annona glabra* y *Thespesia populnea*. Uno de los objetivos del manejo forestal sustentable es el mantenimiento de la capacidad productiva de los sitios y por lo tanto de la productividad de las futuras plantaciones (Martiarena, y otros, 2002). Los árboles fueron escogidos basándonos en la inspección visual previo a la selección de éstos, a información previa de cada una de las especies escogidas y en la experiencia profesional del mentor, del comité de tesis y el juicio profesional de los que colaboraron con el desarrollo de esta investigación.

Medir el diámetro de los árboles

El diámetro de los árboles se midió usando una cinta dendrométrica a una altura de 1.3 m. En aquellos árboles con un tronco compuesto, se midió el diámetro de ambos troncos y se obtuvo el promedio del diámetro para el árbol. Con los valores dimétricos podemos calcular el área basal de los árboles (Lugo & Musa, 1990). La medida de el diámetro de los árboles se determino el día 29 de octubre de 2008.

Medir la altura de los árboles

Para medir la altura de los árboles utilizamos la regla tangente basado en el triangulo de Pitágoras, marca KAGER 20/20 height/sight y una cinta métrica. El triangulo tiene una mirilla por donde se observaba y un espejo que reflejaba un pequeño nivel. Cuando el líquido en el nivel se nivelaba en el centro al mirar el punto más alto del árbol, se determinaba la distancia desde el tronco del árbol, hasta la posición del

observador. A esta medida se le suma la distancia desde el suelo hasta el ojo del observador. El resultado de la suma de ambas medidas es la altura del árbol. Los datos se expresan en metros. La altura de los árboles fue determinada el 29 de octubre de 2008.

Diseño metodológico

Para completar nuestra investigación y cumplir con este objetivo, decidimos establecer la estructura forestal mediante la medición del diámetro, la altura y el área basal de cada uno de los árboles seleccionados. Estos parámetros determinan la estructura forestal del bosque en crecimiento del área mitigada en la ciénaga Las Cucharillas. En gran medida podemos comparar cual de las áreas mitigadas ha tenido mayor desarrollo forestal y que especie arbórea se ha adaptado con mayor éxito en las áreas mitigadas.

Previo a medir cada árbol, se había obtenido la ubicación geográfica de cada uno con un GPS marca Garmin Map 76. Para medir los parámetros forestales utilizamos una cinta dendrométrica, un triángulo para medir árboles y cinta métrica, de la forma descrita en la metodología para cumplir con este objetivo.

Análisis de datos

Para el análisis de datos de la determinación del área basal en m^2 se utilizó la siguiente fórmula matemática: $\text{área basal (m}^2\text{)} = 7853 \times 10^{-8} \times \text{diámetro}$. Usando esta fórmula se calculó el área basal de cada árbol una vez determinado su diámetro. (Tabla 1) Se promedió tanto el diámetro de los ejemplares como la altura de los mismos para fines de comparar y contrastar una especie arbórea con otra (Tabla 2).

Objetivo #2: Calcular la productividad de hojarasca y otros residuos vegetales de los árboles seleccionados dentro de las mitigaciones por un periodo de seis meses.

La colección de hojarasca se llevó a cabo en canastas de alambre con una dimensión de 0.25 m² las cuales fueron colocadas debajo de los árboles seleccionados entre unos 1.5 a 2.0 metros de altura. Cada canasta fue rotulada con un número en metal para identificarlas. Las canastas fueron colocadas al azar a lo largo del área mitigada (Tabla 3). Las muestras fueron colectadas a los 55 días de haberlas colocado. Una vez colectadas, fueron colocadas en bolsas de papel debidamente rotuladas con el número de canasta, especie y lugar de mitigación. Las bolsas fueron secadas a 70°C (Rodriguez, Nivia, & Garzon, 2004) por 72 horas. Posteriormente, se determinó la masa de cada muestra en una balanza analítica en las facilidades de los laboratorios de Ciencias de la Universidad Metropolitana. Luego separamos sus componentes en hojas, ramas, corteza, flores y frutos (Lugo & Musa, 1990). Los datos se expresan en g/m² día.

Ubicación de las canastas

Una vez ensambladas las canastas fueron colocadas en aquellos árboles seleccionados en el área de investigación. Antes de colocar las canastas, se tomó la posición geográfica donde se ubica cada árbol con un GPS marca Garmin Map 76 y se determinó el nombre de la especie arbórea donde fue colocada. A cada una de las canastas se identificó con una chapa metálica que indicaba el número de la canasta. Los datos fueron anotados en la bitácora. La colocación de las canastas tuvo lugar el día 28 de agosto de 2008 (Figura 1).

Diseño metodológico

Para completar nuestra investigación y cumplir con este objetivo, decidimos determinar la caída de hojarasca mediante la colección de ésta por medio de una canasta de metal por un periodo de 55 días. A través de la cuantificación de la hojarasca, se puede determinar la productividad de las especies arbóreas ubicadas en el área mitigada en la Ciénaga Las Cucharillas. En gran medida podemos comparar cual de las áreas mitigadas ha tenido mayor producción primaria y cuál de estas especies es más productiva dentro del área mitigada.

Las canastas fueron ubicadas en aquellos árboles seleccionados para esta investigación, por lo tanto la posición geográfica coinciden con la posición geográfica de los árboles seleccionados. Fueron identificadas con una chapa de metal que contenía números del 1 al 20.

Análisis de datos

Para analizar los datos obtenidos al coleccionar el material de hojarasca, se separa en sus componentes y se mide la masa con una balanza analítica con una apreciación decimal de 0.001. Cada canasta tenía una medida de 50cm. Para calcular el área de las canastas se multiplicaba 50cm x 50cm, dando como resultado un área de 0.25m². Para calcular la producción de hojarasca de cada canasta, se multiplicó cada medida total de hojarasca y se multiplicó por 4 para llevar este resultado a m². El resultado de esta multiplicación se dividió entre 55, que correspondía al total de días de colección de hojas en las canastas. De esta forma se obtuvo la producción de hojarasca en g/m² día (Tabla 4).

Objetivo #3a: Analizar cualitativamente parámetros químico físico de muestras de suelo en ambas áreas mitigadas.

Las muestras de suelo se analizaron cualitativamente con el *Soil pH, N, P, K, Test Kit* marca Environmental Concepts modelo #1665. Las muestras de suelo fueron extraídas donde se ubicaban cada uno de los árboles en este estudio. Para extraer las muestras de suelo, se utilizó un barreno en acero inoxidable, previamente lavado con agua destilada y secado. Este instrumento fue sumergido a una profundidad de seis pulgadas para extraer las muestras. Las muestras fueron colocadas en bolsas de plástico debidamente rotuladas con el número correspondiente a la canasta ubicada en cada árbol. Una vez extraída la muestra, se lavaba el barreno con agua destilada y se secaba para evitar la contaminación de las muestras posteriores.

Cada una de las muestras de suelo fue analizada cualitativamente para determinar el pH, nitratos, fosfatos y el potasio siguiendo la metodología y el procedimiento establecido en el estuche de prueba.

Diseño metodológico

Para poder analizar cualitativamente las muestras de suelo llevamos a cabo la metodología y el procedimiento establecido por el estuche de muestras de suelo. Con el suelo previamente secado en el horno a 70°C por 72 horas, cada muestra fue sometida a pruebas de pH, nitratos, fosfatos y potasio. De esta forma determinamos los nutrientes que posee el suelo donde crecen los árboles seleccionados en ambas áreas mitigadas (Tabla 5).

Análisis de datos

Para analizar los datos obtenidos luego de medir cualitativamente cada muestra, y determinar la presencia de los nutrientes del suelo nos guiamos por las tablas que

vienen incluidas en los estuches de muestreo donde indican el color, que pareo con la presencia o ausencia de nutrientes de las muestras de suelo (Anejo 1). El pH fue determinado según la carta de colores que muestra el estuche de muestreo de suelo utilizado.

Objetivo #3b: Analizar cualitativamente parámetros químico físico de muestras de agua de ambas áreas mitigadas

Recolectamos tres muestras de agua de cada una de las áreas mitigadas (Tabla 6). Para extraer las muestras de agua se usaron unas bolsas especiales para coleccionar muestras de agua, selladas. Una vez se determinó la posición geográfica del lugar de muestra de agua, se procedió a abrir la bolsa y llenarlas de agua hasta la mitad. Se les extrajo el exceso de aire y se cerraron debidamente. Las bolsas fueron rotuladas con el número según la muestra. Una vez finalizamos con la colección de muestras, se colocaron en una nevera con hielo para preservarlas. Las muestras de agua fueron analizadas con el *Qualitative water Pollution Kit* de la marca *Lab-Aids # 19*. Se midió la presencia de amonio, el pH, el cloro, cromo, cobre, cianuro, hierro, nitratos, fósforos, azufre y sílice.

Diseño metodológico

Para poder analizar cualitativamente las muestras de agua, llevamos a cabo la metodología y el procedimiento establecido por el estuche de análisis de agua. Una vez tomadas las muestras de agua, cada muestra fue sometida a pruebas como el pH, el cloro, cromo, cobre, cianuro, hierro, nitratos, fósforos, azufre y sílice siguiendo el procedimiento establecido por el estuche. De esta forma determinamos los nutrientes y contaminantes que posee el agua presente en el área donde se desarrollan los árboles seleccionados en ambas áreas mitigadas.

Análisis de datos

Para analizar los datos obtenidos de las pruebas cualitativas de las muestras de agua hicimos referencia a las tablas que vienen incluidas en los estuches de análisis de agua utilizados para esta investigación. Cada tarjeta tiene una carta de colores que indica la presencia o ausencia de contaminantes medidos por este estuche (Apéndice 2).

Objetivo #4: Establecer recomendaciones de manejo

Una vez analizado los datos, establecemos recomendaciones de manejo integrales que aporten en la aplicación de una metodología eficiente en diagnosticar, estudiar y aplicar planes de acción y estrategias adecuadas en la gestión ambiental a favor de la ciénaga Las Cucharillas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Introducción

En este capítulo de nuestra investigación, presentamos los resultados obtenidos de los análisis de datos de la producción de hojarasca, diámetro, altura y área basal de los árboles seleccionados para este estudio, muestras de agua y suelo en el área mitigada de la Ciénaga Las Cucharillas. Evaluamos la producción de hojarasca para determinar cuál de las especies arbóreas ha sido más productiva en esta área mitigada. Además medimos parámetros forestales para identificar cual de las especies arbóreas ha tenido mayor desarrollo en el área mitigada. También evaluamos cualitativamente muestras de agua y suelo para determinar contaminantes y nutrientes para relacionarlos al desarrollo y a la productividad de las especies arbóreas que protagonizan esta investigación.

Comparación de los datos obtenidos de la estructura forestal de las especies arbóreas seleccionadas

Los datos sobre la estructura forestal obtenidos fueron el diámetro a la altura del pecho, la altura y el área basal de los árboles. En la Tabla 1 se resumen los datos obtenidos para cada uno de los parámetros forestales medidos. Promediamos el diámetro, la altura para cada una de las especies arbóreas. El *Pterocarpus officinalis* presento un mayor DAP (diámetro a la altura del pecho), con un promedio de 3.54 cm seguido por *Annona glabra* con 2.94 cm y luego el *Thespesia populnea* con 2.61 cm. El árbol que mayor altura fue el *Pterocarpus officinalis* con una altura promedio de 4.33m, seguido por el *Thespesia populnea* con una altura promedio de 4.05m y finalmente el árbol de menor altura fue el *Annona glabra* con una altura promedio de 3.33 m. La

especie que mayor área basal presentó fue el *Pterocarpus officinalis* con un área basal promedio de 0.00122m^2 , seguido por el *Annona glabra* con un área basal promedio de 0.00108m^2 y finalmente el *Thespesia populnea* con un área basal de 0.00071m^2 (Tabla 7).

Comparación de los datos obtenidos de la colección de hojarasca proveniente de los árboles seleccionados en la investigación.

Una vez colecta la hojarasca, se observó que el mayor componente de ésta fueron las hojas, seguido por los frutos y finalmente flores. Tanto los frutos como las flores fueron aportadas por la *Thespesia populnea*. El promedio de hojas por especie fue determinado. La *Thespesia populnea* aportó mayor cantidad de hojas con un promedio de $7.49\text{g}/\text{m}^2$ día, seguido por la *Annona glabra* con un promedio de $0.44\text{g}/\text{m}^2$ día y finalmente el *Pterocarpus officinalis* con un promedio de $0.29/\text{m}^2$ día. El total de flores colectados fue de 2.06g , y el promedio de frutos obtenidos fue de 2.9g ambos datos aportados solo por la especie *Thespesia populnea* (Tabla 8).

La Tabla 9 presenta los datos de producción de hojarasca obtenidos en esta investigación. Los datos de producción de hojarasca fueron promediados y obtuvimos que la *Thespesia populnea* fue el árbol que mayor cantidad de hojarasca aportó, con un promedio de $1.48\text{ g}/\text{m}^2$ día. En segundo lugar, el *Annona glabra* con un promedio de hojarasca de $0.22\text{g}/\text{m}^2$ día y finalmente el *Pterocarpus officinalis* con un aporte de hojarasca promedio de $0.12\text{g}/\text{m}^2$ día.

Evaluación cualitativa de las muestras de suelo

Una vez sometida las muestras de suelo a las pruebas cualitativas, obtuvimos que todas las muestras de suelo tenían concentraciones bajas en nitratos, bajas en fósforos y altas en potasio (Tabla 5). Obtuvimos el pH de cada una de las muestras de suelo. Los valores de pH fueron promediados y resultó que el árbol de *Thespesia*

populnea creció en los suelos más ácidos con un pH promedio de 6.25, seguido de el *Pterocarpus officinalis* con un pH promedio de 6.50 y finalmente el *Annona glabra* cuyo pH promedio de sus suelos fue de 6.7 (Tabla 10).

En el área de estudio se pudo observar unos residuos de ladrillos color rojizo, pertenecientes a una antigua hacienda que ubicaba en el pasado. Este ladrillo estaba muy presente en el suelo donde crecían muchos ejemplares de *Thespesia populnea*. Obtuvimos una muestra de este ladrillo y determinamos que su pH fue de 4.5.

Evaluación cualitativa de las muestras de agua

La salinidad del agua de todas las muestras de agua fue de 0% y 0 ppm de acuerdo con los instrumentos utilizados y descritos en la metodología (Tabla 11). Las muestras de agua fueron sometidas a pruebas cualitativas de amonio, pH, cloro, cromo, cobre, cianuro, hierro, nitratos, fosfatos, sílice y sulfuros. Según la Tabla 12, todas las muestras de suelo presentaron un pH de 8. Todas las muestras presentaron presencia de amonio, hierro, fosfatos y sílice. Según los resultados obtenidos, las pruebas arrojaron negativo a la prueba de cloro, cromo, cobre, cianuro, nitratos y sulfuros.

Al llevar a cabo la prueba de hierro, pudimos notar que la colorimetría fue variada. La presencia de un color vino, indicaba la presencia de hierro en el agua. La muestra #3 reflejó un color vino claro, indicando mayor presencia de hierro. Mientras que las otras muestras reflejaron tonalidades del color rosa.

Las demás pruebas cualitativas a la que sometimos las muestras de agua resultaron exactamente iguales en colorimetría. La prueba de fosfatos todas presentaron el mismo color azul, las pruebas de amonio presentaron el mismo color amarillo y las pruebas de sílice, presentaron el mismo color azul intenso.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La ciénaga Las Cucharillas ofrece un conglomerado de beneficios tanto a la flora y fauna como a las comunidades adyacentes. Entre la importancia y las funciones que la caracteriza es que es un lugar fértil debido al depósito de sedimentos, controla la erosión costera, ayuda en la recarga y descarga de aguas subterráneas, reducen la erosión del suelo al reducir la velocidad de las aguas de los ríos y quebradas (Ruiz, 1999), ayudan a filtrar las aguas para que lleguen limpias y purificadas a los estuarios, además son el albergue de muchas especies de plantas y animales, incluyendo aves migratorias, especies en peligro de extinción, y sirven de vivero y área de desove de peces. Es el humedal herbáceo más grande de la zona metropolitana (Sotomayor, 2007). Ha sido impactada por eventos que han alterado su estado natural como lo fue la canalización de sus ríos, el desarrollo urbano e industrial y algunos disturbios antropogénicos como la tala de vegetación, relleno de humedales, dragados, fragmentación del paisaje, vertido de desperdicios y sustancias tóxicas (Lugo, 2006).

Parte de esta ciénaga ha sido cedida al Sistema Universitario Ana G. Méndez para desarrollar investigaciones y proteger dichos terrenos a perpetuidad. Ante la oportunidad que nos ofrece esta ciénaga para ser investigada, nos dimos a la tarea de dirigir nuestro estudio para determinar la estructura forestal y productividad primaria de las tres especies arbóreas usadas en las mitigaciones realizadas en el área de estudio.

Según los resultados de los parámetros forestales, encontramos que el *Pterocarpus officinalis* fue la especie arbórea con parámetros forestales mayores. Esta especie presentó un mayor diámetro, mayor altura y mayor área basal, lo que significa que esta especie arbórea es la mejor adaptada y acomodada al medio. Fue un acierto

escoger esta especie para llevar a cabo la mitigación. Es una especie que crece mejor en suelos con poca o ninguna salinidad y es mejor adaptada a medioambientes inundados (Cuevas, Medina & Lugo, 2007).

La Figura 2 presenta que la mayor producción de hojarasca se llevó a cabo en el área de mitigación de Bacardí. Esta área mitigada se caracteriza por tener los árboles sumergidos temporariamente en agua, tal vez esto provee condiciones óptimas para la productividad primaria de las especies en esta área mitigada. La especie *Pterocarpus officinalis* tuvo una baja productividad primaria cuyo valor promedio fue de 0.12 gm² día, comparada con la determinada en bosques de esta especie ubicado en la base militar de Sabana Seca, cuya productividad primaria fue de 3.25 g m² día. Para conservar este tipo de bosque de humedal es necesario expandir la distribución de esta especie a áreas de baja salinidad (Eusse & Aide, 1999).

Según los resultados del análisis de hojarasca, podemos indicar que la *Thespesia populnea* fue la especie arbórea que aportó mayor cantidad de hojas, por lo que también aportó la mayor cantidad de hojarasca cuantificada. Lo que deducimos que es la especie más productiva que hay en el área de investigación. Aquellos árboles que crecían sumergidos en el agua o muy cercanos a ésta, presentaban mayor productividad.

Otra parte de nuestra investigación determinó que al realizar el análisis colorimétrico los nutrientes de las muestras de suelo arrojaron una baja concentración de nitratos y de fosfatos, mientras que una alta concentración de potasio. El nitrato es esencial para el crecimiento de la planta. La cantidad precisa de este nutriente en el suelo permite un crecimiento saludable de la planta, demasiada cantidad de nitrato puede afectar la estructura de la planta. Es importante para el crecimiento de algas y plantas acuáticas. Las principales rutas de ingreso de nitrógeno son las aguas

residuales de la industria, tanques sépticos, descargas de aguas usadas y residuos de animales (Abarca, 2006).

El fósforo es necesario para el fuerte crecimiento de las raíces, mientras que la ausencia de este detiene el crecimiento de la planta. El fósforo estimula el crecimiento del plancton y de plantas acuáticas que proveen alimento para los peces (Abarca, 2006), sin embargo un exceso en fósforo hace crecer demasiado las algas y plantas acuáticas saturando el curso natural de las aguas y la utilización de oxígeno. El potasio por su parte hace que las plantas desarrollen mayor resistencia a enfermedades. Lo que deducimos que el suelo donde se desarrollan los árboles en el área mitigada contiene nutrientes pero en bajas concentraciones, lo cual provoca un crecimiento lento, pero con raíces desarrolladas.

Este estudio puede proveer las bases científicas para identificar cambios futuros en la estructura y función del ecosistema. Estos cambios pueden darse debido al proceso de sedimentación. La introducción de nutrientes y el proceso de nutrientes en el humedal, son sensibles a cambios en el uso del suelo y al régimen hidrológico y también puede verse afectado por eventos y tendencias regionales resultantes del cambio global y el aumento en el nivel del mar (Morse, Megonigal & Walbride, 2004). La baja fertilidad del suelo puede conducir al crecimiento lento de una planta (Wang, Wang & Lin, 2003).

Los valores del pH obtenidos van desde 5.5 hasta 7.0 en las muestras de suelo. Un intervalo de pH de 6.0 a 9.0 parece brindar protección a la vida de los peces de agua dulce y a los invertebrados que habitan en el ecosistema, en cambio un pH de 7.0 se relaciona a un ambiente natural (Abarca, 2006). Las sustancias tóxicas provenientes de la industria generalmente hacen bajar los valores del pH.

Los suelos donde se desarrollaba el *Thespesia populnea* fueron más ácidos, esto nos llevó a realizar una correlación entre el pH y los parámetros medidos en esta

investigación. La correlación entre el pH del suelo y la productividad fue establecida (Figura 3). El *Annona glabra* presentó una correlación de -0.2, lo que podría significar que al disminuir el pH, aumenta la productividad de esta especie. El *Pterocarpus officinalis* presentó una correlación de 0.10 lo que tal vez se puede entender que no hay una correlación significativa. El *Thespesia populnea* tuvo una correlación de 0.64 lo que establece que hay una relación entre la productividad de esta especie y el pH. Esto significa que al aumentar el pH, aumenta la productividad. La correlación total de todas las especies arbóreas con respecto a la productividad fue de -0.14, lo que podría significar que cuando el pH aumenta, disminuye la productividad de las especies, por presentar un valor de correlación muy bajo. (Tabla 13).

Determinamos la correlación entre el pH y el área basal de las especies arbóreas (Figura 4). El *Annona glabra* presentó una correlación de 0.24, cifra que no es significativa. De la misma forma el *Pterocarpus officinalis* presentó una correlación de 0.33, mientras que el *Thespesia populnea* presentó una correlación de -0.75, lo que significa que mientras el pH aumenta, disminuye el área basal. La correlación total de todas las especies arbóreas con respecto al área basal fue de 0.19, por lo que no hay correlación significativa entre el pH y el área basal de las especies, exceptuando la *Thespesia populnea* (Tabla 14).

También determinamos la correlación entre el pH y la altura de las especies arbóreas (Figura 5). El *Annona glabra* presentó una correlación de 0.14, el *Pterocarpus officinalis*, una correlación de 0.35, y la *Thespesia populnea* una correlación de 0.004. Ninguna de las especies presentó una correlación significativa entre la altura y el pH. La correlación total de todas las especies arbóreas con respecto a la altura fue de 0.04, lo que de igual forma no fue significativo (Tabla 15).

Determinamos la correlación entre el pH y el diámetro (Figura 6). La especie *Annona glabra* presentó una correlación de 0.32, el *Pterocarpus officinalis*, una

correlación de 0.23. Ambas cifras de correlación, no fueron significativas. La *Thespesia populnea*, presentó una correlación de -0.68, lo que significa que al aumentar el pH, disminuye el diámetro de esta especie. La correlación total de las especies con respecto al diámetro fue de 0.093, presentando una correlación muy baja entre el diámetro de las especies arbóreas y el pH de sus suelos (Tabla 16).

Evidentemente, la especie *Thespesia populnea* ha presentado valores significativos de correlación entre el pH y varios de los parámetros medidos. Al parecer, los suelos donde crece esta especie arbórea pudiesen tener una alta contaminación por metales pesados, que sería preciso medir para efectos de un manejo adecuado en la ciénaga Las Cucharillas.

Según los resultados de las muestras de agua, determinan que el agua presente en la ciénaga es dulce, esto al no presentar salinidad. El único metal que dio positivo en las muestras fue el hierro (Fe) lo que indica que para tener un mayor valor científico sería necesario realizar análisis cuantitativos de metales pesados que pudiesen encontrarse en los suelos y que por colorimetría algunos de ellos no se podrían determinar como el cadmio, el níquel, mercurio, zinc y cobre. Los árboles de *Annona glabra* expuestos a concentraciones de hierro presentan síntomas de deficiencia de nutrientes y poca producción de clorofila (Ojeda, Schaffer & Davies, 2004). Hay muy poca información sobre la fisiología anatómica y respuestas de crecimiento de la *Annona glabra* necesarias para comprender su mecanismo de adaptación (Nuñez, Schaffer, Fisher, Colls & Crane, 1999).

Determinamos la presencia de fosfatos lo que indica que significa que hay productividad biológica del fitoplancton en este ecosistema y la oportunidad para el crecimiento de plantas acuáticas. Además la presencia de sílice muestra que puede haber venido del antiguo cauce el Rio Bayamón o proveniente de rellenos de las aéreas.

Finalmente podemos indicar que la especie de mayor estructura es el *Pterocarpus officinalis* y la más productiva es la *Thespesia populnea*. Las especies arbóreas establecidas en el área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas se encuentran en muy buen estado y presentan un potencial desarrollo estructural y productivo.

Recomendaciones

Luego de analizar la estructura forestal, la producción de hojarasca y la calidad del suelo y del agua en el área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas, decidimos agrupar nuestras recomendaciones en cuatro áreas principales: Manejo, Restauración, Investigación y Educación.

Manejo:

- Se recomienda a la Escuela de Asuntos Ambientales actualizar el inventario de los árboles existente que incluya los parámetros forestales para poder determinar el crecimiento y la estructura de los árboles .
- Se recomienda establecer un plan de monitoreo que mida algunos parámetros forestales y estructurales como la altura, área basal y diámetro.
- Se recomienda revisar el sistema de identificación de las especies arbóreas del área mitigada, ya que algunos ejemplares han perdido su número de identificación.

Restauración:

Realizar mitigaciones en un área similar a la ciénaga Las Cucharillas con las especies *Pterocarpus officinalis* y *Thespesia populnea* por ser las especies de mayor estructura forestal y mayor productividad respectivamente.

Investigación:

- Se recomienda continuar el estudio de productividad por un periodo mayor de tiempo para ver los meses de mayor productividad entre cada una de las especies arbóreas a pesar de que este es un ecosistema tropical con variables de clima constantes durante el año.
- Se recomienda desarrollar un estudio cuantitativo de los nutrientes tanto de suelo como de agua para ver con precisión las concentraciones de estos nutrientes en el suelo.
- Se recomienda medir las variaciones o las concentraciones de CO₂ durante las horas nocturnas y diurnas en las tres especies estudiadas para poder evaluar cuál de estas especies contribuiría en mayor cantidad a mejorar el problema del calentamiento global, es decir, a identificar la especie que realiza una mayor absorción de CO₂ en el proceso de fotosíntesis.
- Realizar en el futuro estudios de limnología en Cucharillas ya que cuando las aguas inundan el ecosistema se observa una gran diversidad de organismos, tanto fitoplancton, plantas flotantes, inclusive poblaciones de peces los cuales sirven de alimento para una gran variedad de aves que habitan el lugar.
- Se recomienda llevar a cabo análisis cuantitativo de metales pesados en los sedimentos y en el suelo del área mitigada, ya que este estudio presentó un análisis cualitativo.
- Se recomienda analizar la correlación entre los metales pesados en las hojas y los metales pesados en suelos.

Educación:

- Desarrollar un manual educativo para restauración y reforestación en el área de la Ciénaga Las Cucharillas.

Limitaciones

- El acceso – previo a lograr la entrada al área de estudio teníamos que llamar a Bacardí Corporation y pedir que nos abrieran el portón para poder lograr acceso al área de estudio. Este proceso podía tomarnos unos 30 minutos en gestionar y esperar por la empresa para poder lograr el acceso el lugar. Tal vez la Escuela de Asuntos Ambientales (EAA) puede gestionar algún acuerdo para tener acceso directo al área de estudio.

Esta investigación provee las bases científicas para identificar cambios futuros en la estructura y función del área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas. Esto se suma a los esfuerzos realizados por otros estudiantes egresados de la Escuela de Asuntos Ambientales de la Universidad Metropolitana para su conservación, manejo y restauración. Al desarrollarse más investigaciones sobre la ciénaga Las Cucharillas, miramos al futuro esperanzados en recobrar este valioso ecosistema.

LITERATURA CITADA

- Abarca, F. J. (2006). *Técnicas para evaluación y monitoreo de los humedales y otros ecosistemas acuáticos*. Recuperado el 26 de noviembre de 2008, de www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/533/tecnicas.pdf
- Amusan, A., & Adeniyi, I. (2005). Characterization and Heavy Metal Retention Capacity of Soils in Mangrove Forest of the Niger Delta, Nigeria. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* , 2033-2045.
- Batista, C., Morales, C., Diaz, A., & Padin, C. (2005). *Plan de Manejo para la Ciénaga Cucharillas*. Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana.
- Comin, F., Mendez, M., Romero, J., Hernandez, O., Martinez, M., & Chacon, A. (1999) Indicadores ecológicos y herramientas para la gestión de ecosistemas acuáticos en la zona costera. *Limnética* , 61-68.
- Contreras, F., & Warner, B. (2004). Ecosystem characteristics and considerations for coastal wetlands in Mexico. *Hydrobiologia* , 233-245.
- Cowardin, L., Carter, V., Golet, F., & La Roe, E. (1979). *Classification of Wetlands deepwater habitats of the United States*. U.S. Fish and Wildlife Service,.
- Cuevas, E., Medina, E., & Lugo, A. (2007). Nutrient and salt relations of *Pterocarpus officinalis* in costal wetlands of the Caribbean. *Trees* .
- Cunningham, W., & Cunningham, M. A. (2006). *Principles of Environmental Science*. Mc Graw Hill.
- Davis, S., Childers, D., & Noe, G. (2006). The contribution of leaching to the rapid release of nutrients and carbon in the early decay of wetland vegetation *Hidrobiologia* , 87-97.
- Editorial Universidad de Puerto Rico. (2001). *Guía para la identificación de plantas comunes en humedales de la zona del Caribe: Puerto Rico e Islas Virgenes EE.UU.* San Juan, PR: Editorial de la Universidad de Puerto Rico.
- Eusse, A. M., & Aide, M. (1999). Patterns of litter production across a salinity gradient in a *Pterocarpus officinalis* tropical wetland. *Plant Ecology* , 307-315.
- Felix-Pico EF, Quinonez O, Hernandez A, Flores, F. (2006). Producción primaria de los mangles del Estero El Conchalito en la Bahía de La Paz. *Ciencias Marinas* , 53-63.
- Flores, F., Moreno, P., Agraz, C. M., Lopez, H., Benitez, D., & Travieso, A. C. (2007). La topografía y el hidroperiodo: dos factores que condicionan la restauración de los humedales costeros. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* , 33-47.
- Fonseca, A., Cortes, J., & Zamora, P. (2007). Monitoreo del manglar de Gandoca, Costa Rica. *Biología Tropical* , 23-31.

- Friday, J., & Okano, D. (2006). *Thespesia populnea*. Hawaii: Species Profile for Pacific Island Agroforestry.
- García, I. . (2002). Producción de hojarasca de los manglares de la Isla de San Andrés Caribe Colombiano. *Biología Tropical* , 237-291.
- Hernandez, C., & Klaus, G. (1989-1990). Productividad primaria en la ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *An. Inst. Investigación Marina Punta Betín* , 101-119.
- IUCN. (2006). *ISSG Database: ecology of Annona glabra*. IUCN.
- Junta Calidad Ambiental. (2007). *Plan de Ordenación Teritorial Municipio de Cataño*. San Juan, PR.
- Lema L.F. , Planía J. (2007). Estructura y dinámica del manglar del delta del río Rancharia, Caribe Colombiano. *Biología Tropical* , 55 (#1), 11-21.
- Lepane, V., Varvas, M., Vitak, A., Alikasaar, T., & Heinsalu, A. (2007). Sedimentary record of heavy metals in Lake Rouge Liinjarv, southern Estonia. *Estonian Journal of Earth Sciences* , 221-232.
- Lugo. (2006). Lecciones ecológicas de una isla que lo ha visto todo. *Ecotropicos* , 19(2), 57-71.
- Lugo, A. E., Brown, S., & Brinson, M. M. (1988). Forested wetlands in freshwater and salt-water environments. *Limnology and Oceanography* , 894-909.
- Lugo, A., & Musa, J. (1990). Joyuda Lagoon Forest. *Acta Científica* , 4, 71-93.
- Martiarena, R., Fernandez, R., Lupi, A., Goya, J., Frangi, J., Bernio, J., y otros. (2002). Biomasa aérea y caída de hojarasca en plantaciones de diferentes edades de Araucaria. *Décimas Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales*, (págs. 1-9). Montecarlo, Argentina.
- Medina, E. (2006). Humedales Costeros en América Tropical: significación ecológica y alternativas de conservación. *Ecotropicos* , 55-56.
- Miamone, M. R., Aliphath, M., Ramirez, B., Valdez, J. I., & Macias, A. (2005). *Manejo tradicional de humedales tropicales: El caso exitoso de la comunidad maya-chontal de Quintin Arauz, Centla, Tabasco, México*. Veracruz, México: Primer Congreso Internacional de Casos exitosos de Desarrollo Sostenible del Trópico.
- Miao, S., Chen, G., Delaune, R., & Jugsujinda, A. (2007). Partitioning and removal of Cd and Mn using a simulated mangrove wastewater treatment system. *Journal of Environmental Science and Health* , 405-411.
- Mielke, M., Matos, E. M., Couto, V. B., F. de Almeyda, A., Gomes, F., & Oliveira, P. A. (2005). Some photosynthetic and growth responses of *Annona glabra* L. seedlings to soil flooding. *Acta de Botanica Brasil* , 905-911.

- Morse, J., Megonigal, J., & Walbride, M. (2004). Sediment nutrient accumulation and nutrient availability in two tidal freshwater marshes along the Mattaponi River, Virginia, USA. *Biogeochemistry* (69), 175-206.
- Núñez, R., Schaffer, B., Fisher, J. B., Colls, A. M., & Crane, J. H. (1999). Influence of flooding on net CO₂ assimilation, growth, and stem anatomy of *Annona* Species. *Annals of Botany* , 771-780.
- Ojeda, M., Schaffer, B., & Davies, F. (2004). Root and Leaf Ferric Chelate Reductase Activity in Pond Apple and Soursop. *Journal of plant nutrition* , 1381-1393.
- Orihuela, E., Tovilla, C., Vester, H., & Alvarez, T. (2004). Flujo de materia en un manglar de la costa de Chiapas, México. *Madera y Bosques* , 45-61.
- Palacios, P. (2002). Producción y descomposición de hojarasca en un bosque Maulino fragmentado. *Seminario de título, Biología Ambiental* , 1-19.
- Parrotta, J. (1994). International Institute of Tropical Forestry, U.S. Department of Agriculture. Recuperado de www.fs.fed.us
- Prause, J., Arce de Caram, G., & Angeloni, P. (2003). Variación mensual en el aporte de hojas de cuatro especies forestales nativas del parque Chaqueno Húmedo (Argentina). *Quebracho - Revista de Ciencias Forestales* , 39-45.
- Quinto, H. R. (2007). Cuantificación de la caída de hojarasca como medida de la productividad primaria neta en un bosque pluvial tropical en Salero, Chocó, Colombia. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó* , 28-41.
- Ramirez, J. Z. (2007). Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos andinos de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Interciencia* , 303-311.
- Rivera, E., Aide, T., & McMillan, W. (2002). Patterns of genetic diversity and biogeographical history of the tropical wetland tree, *Pterocarpus officinalis* , in the Caribbean basin. *Molecular Ecology* , 675-683.
- Rodriguez, A., Nivia, J., & Garzon, J. (2004). Características estructurales y funcionales del manglar de *Avicennia Germinans* en la Bahía de Chengue (Caribe Colombiano). *Instituto de investigaciones marinas y costaneras* , 223-244.
- Ruiz, C. (1999). *Eco Isla*. Recuperado de www.ceducapr.com
- Sanches, M. . (2003). Producción de hojarasca en un bosque semidecíduo estacional en Sao Pedro , Potirendaba, estado de Sao Paulo , Brasil. *Revista del Jardín B* , 173-176.
- Sotomayor, C. (2007). *Presencia de metales pesados en el suelo en la Ciénaga las Cucharillas*. San Juan, PR: Disertación de maestría no publicada. Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana.

- Trama, F. (2005). *Manejo Activo y Restauración del Humedal Palo Verde: Cambios en la cobertura vegetal y respuestas de aves acuáticas*. Heredia: Universidad Nacional de Costa Rica.
- Trulio, L. (2003). *Una introducción y guía para usuarios de la restauración, creación y mejoramiento de humedales*. National Oceanic and Atmospheric Administration y Environmental Protection Agency.
- Urquhart, G. R. (2004). Flood-tolerance and food-escape mechanisms for seed and seedlings of comon swamp trees of Central America. *Tropical Ecology* , 197-208.
- Vargas, L., & Varela, A. (2002). Producción de hojarasca de un bosque de niebla en la Reserva Natural La Planada (Narino, Colombia). *Universitas Scientiarum* , 35-49.
- Wang, W., Wang, M., & Lin, P. (2003). Seasonal changes in element contents in mangrove element retranslocation during leaf senescence. *Plant and Soil* , 187-193.
- Weaver, P. L. (1997). *Pterocarpus officinalis*. New Orleans, LA: Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station.
- Yanez, A. ,. (1998). Los ecosistemas de Manglar frente al cambio climático global. *Madera y Bosques* , 3-19.
- Zaldivar, A., Herrera, J., Coronado, C., & Alonzo, D. (2004). Estructura y productividad de los manglares en la reserva de la biosfera Ria Celestun, Yucatan, Mexico. *Madera y Bosques* , 25-35.
- Zotz, G., Tyree, M., & Patino, S. (1997). Hydraulic architecture and water relations of a flood- tolerant tropical tree, *Annona glabra*. *Tree Physiology* , 359-365.

TABLAS

Tabla 1:

Diámetro (cm), altura (m), Área basal (m²) y la ubicación geográfica de las especies arbóreas en el área de estudio.

# DE CANASTA	MITIGACION	ESPECIE	UBICACIÓN	DAP	ALTURA	ÁREA BASAL (m ²)
1	FLEXITANK	<i>Annona glabra</i>	18° 26.562N / 66°09.355W	4.8 cm	5.27 m	0.0018
2	FLEXITANK	<i>Pterocarpus officinalis</i>	18° 26.569 N / 66°09.376W	4.15 cm	3.72 m	0.0013
3	FLEXITANK	<i>Pterocarpus officinalis</i>	18°26.573N / 66°09.385W	4.5 cm	5.42 m	0.0016
4	FLEXITANK	<i>Pterocarpus officinalis</i>	18° 26.568N / 66°09.332W	4.5 cm	3.57 m	0.0016
5	FLEXITANK	<i>Pterocarpus officinalis</i>	18° 26.583N / 66°09.354W	6.9 cm	4.47 m	0.0037
6	FLEXITANK	<i>Pterocarpus officinalis</i>	18° 26.564N / 66°09.382W	4.5 cm	4.97 m	0.0016
7	FLEXITANK	<i>Annona glabra</i>	18° 26.560N / 66°09.388W	5.4 cm	4.02 m	0.0023
8	FLEXITANK	<i>Annona glabra</i>	18° 26.551N / 66°09.376W	2.8 cm	4.62 m	0.00061
9	FLEXITANK	<i>Pterocarpus officinalis</i>	18° 26.545N / 66°09.371W	1.45 cm	4.37 m	0.00015
10	FLEXITANK	<i>Annona glabra</i>	18° 26.548N / 66°09.370W	4.4 cm	5.07 m	0.0015
11	FLEXITANK	<i>Pterocarpus officinalis</i>	18° 26.615N / 66°09.385W	1.2 cm	3.77 m	0.00011
12	FLEXITANK	<i>Annona glabra</i>	18° 26.614N / 66°09.386W	1.0 cm	1.30 m	0.00009
13	BACARDI	<i>Thespesia populnea</i>	18° 26.622N / 66°09.380W	0.75 cm	3.57 m	0.00007
14	BACARDI	<i>Pterocarpus officinalis</i>	18° 26.621N / 66°09.378W	1.7 cm	3.67 m	0.00023
15	BACARDI	<i>Thespesia populnea</i>	18° 26.621 N / 66°09.386W	1.5 cm	4.02 m	0.00017
16	FLEXITANK	<i>Annona glabra</i>	18°26.606N / 66°09.383W	0.9 cm	1.76 m	0.0001
17	FLEXITANK	<i>Annona glabra</i>	18° 26.597N / 66°09.387W	1.3 cm	1.30 m	0.00013
18	FLEXITANK	<i>Thespesia populnea</i>	18° 26.610N / 66°09.380W	3.8 cm	4.57 m	0.0011
19	FLEXITANK	<i>Thespesia populnea</i>	18° 26.613N / 66°09.390W	4.4 cm	4.05	0.0015
20	FLEXITANK	<i>Pterocarpus Officinalis</i>	18° 26.610N / 66°09.380W	3.0 cm	4.97 m	0.00071

Tabla 2

Promedio de área basal (m²) por especie en el área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas.

Especie	Área Basal (m ²)
<i>Annona glabra</i>	0.00108
<i>Pterocarpus officinalis</i>	0.00122
<i>Thespesia populnea</i>	0.00071

Tabla 3
Ubicación Geográfica de las Canastas en el área de estudio

# DE CANASTA	MITIGACION	ESPECIE	UBICACIÓN
1	FLEXITANK	<i>Annona glabra</i>	18° 26.562N / 66°09.355W
2	FLEXITANK	<i>Pterocarpus officinalis</i>	18° 26.569 N / 66°09.376W
3	FLEXITANK	<i>Pterocarpus officinalis</i>	18°26.573N / 66°09.385W
4	FLEXITANK	<i>Pterocarpus officinalis</i>	18° 26.568N / 66°09.332W
5	FLEXITANK	<i>Pterocarpus officinalis</i>	18° 26.583N / 66°09.354W
6	FLEXITANK	<i>Pterocarpus officinalis</i>	18° 26.564N / 66°09.382W
7	FLEXITANK	<i>Annona glabra</i>	18° 26.560N / 66°09.388W
8	FLEXITANK	<i>Annona glabra</i>	18° 26.551N / 66°09.376W
9	FLEXITANK	<i>Pterocarpus officinalis</i>	18° 26.545N / 66°09.371W
10	FLEXITANK	<i>Annona glabra</i>	18° 26.548N / 66°09.370W
11	FLEXITANK	<i>Pterocarpus officinalis</i>	18° 26.615N / 66°09.385W
12	FLEXITANK	<i>Annona glabra</i>	18° 26.614N / 66°09.386W
13	BACARDI	<i>Thespesia populnea</i>	18° 26.622N / 66°09.380W
14	BACARDI	<i>Pterocarpus officinalis</i>	18° 26.621N / 66°09.378W
15	BACARDI	<i>Thespesia populnea</i>	18° 26.621 N / 66°09.386W
16	FLEXITANK	<i>Annona glabra</i>	18°26.606N / 66°09.383W
17	FLEXITANK	<i>Annona glabra</i>	18° 26.597N / 66°09.387W
18	FLEXITANK	<i>Thespesia populnea</i>	18° 26.610N / 66°09.380W
19	FLEXITANK	<i>Thespesia populnea</i>	18° 26.613N / 66°09.390W
20	FLEXITANK	<i>Pterocarpus Officinalis</i>	18° 26.610N / 66°09.380W

Tabla 4

Producción de hojarasca (g/m² día) en áreas de mitigación en la Ciénaga Las Cucharillas. Periodo 55 días

CANASTA	ESPECIE	MITIGACION	HOJAS	FLORES	FRUTOS	PESO TOTAL	HOJARASCA g/m ² día
1	<i>Annona glabra</i>	FLEXITANK	4.41 g			4.41 g	0.32
2	<i>Pterocarpus officinalis</i>	FLEXITANK	3.53 g			3.53 g	0.26
3	<i>Pterocarpus officinalis</i>	FLEXITANK	0.48 g			0.48 g	0.03
4	<i>Pterocarpus officinalis</i>	FLEXITANK	0.78 g			0.78 g	0.06
5	<i>Pterocarpus officinalis</i>	FLEXITANK	1.76 g			1.76 g	0.13
6	<i>Pterocarpus officinalis</i>	FLEXITANK	0.60 g			0.60 g	0.04
7	<i>Annona glabra</i>	FLEXITANK	0.80 g			0.80 g	0.06
8	<i>Annona glabra</i>	FLEXITANK	2.10 g			2.10 g	0.15
9	<i>Pterocarpus officinalis</i>	FLEXITANK	0.40 g			0.40 g	0.03
10	<i>Annona glabra</i>	FLEXITANK	2.15 g			2.15 g	0.16
11	<i>Pterocarpus officinalis</i>	FLEXITANK	1.10 g			1.10 g	0.08
12	<i>Annona glabra</i>	FLEXITANK	3.06 g			3.06 g	0.22
13	<i>Thespesia populnea</i>	BACARDI	9.04 g		3.56 g	12.60 g	0.92
14	<i>Pterocarpus officinalis</i>	BACARDI	3.93 g			3.93 g	0.29
15	<i>Thespesia populnea</i>	BACARDI	26.54 g	2.06 g	2.24 g	30.84 g	2.24
16	<i>Annona glabra</i>	FLEXITANK	3.53 g			3.53 g	0.26
17	<i>Annona glabra</i>	FLEXITANK	5.35 g			5.35 g	0.39
18	<i>Thespesia populnea</i>	FLEXITANK	18.77 g		8.68 g	27.45 g	2.00
19	<i>Thespesia populnea</i>	FLEXITANK	6.87 g	0.64 g	3.06 g	10.57 g	0.77
20	<i>Pterocarpus Officinalis</i>	FLEXITANK	2.10 g			2.10 g	0.15

Tabla 5
Resultado de análisis cualitativo de muestras de suelo

# MUESTRA	pH	Nitratos	Fosfatos	Potasio
1	7.0	Low	Low	High
2	6.5	Low	Low	high
3	7.0	Low	Low	High
4	6.0	Low	Low	High
5	7.0	Low	Low	High
6	6.0	Low	Low	High
7	7.0	Low	Low	High
8	6.0	Low	Low	High
9	6.5	Low	Low	High
10	7.0	Low	Low	High
11	6.5	Low	Low	High
12	7.0	Low	Low	High
13	6.5	Low	Low	High
14	6.5	Low	Low	High
15	6.5	Low	Low	High
16	7.0	Low	Low	High
17	6.0	Low	Low	High
18	6.5	Low	Low	High
19	5.5	Low	Low	High
20	6.5	Low	Low	High

Tabla 6

Posición geográfica de muestras de agua en el área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas

# de Muestra	Posición geográfica
1	18° 26.600N / 66°09.385W
2	18° 26.599 N / 66°09.379W
3	18°26.569N / 66°09.361W
4	18° 26.626N / 66°09.383W
5	18° 26.628N / 66°09.379W
6	18° 26.633N / 66°09.382W

Tabla 7
Promedio de altura (m) y diámetro (cm) a la altura del pecho por especie

Especie	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (m)
<i>Annona glabra</i>	2.94	3.33
<i>Pterocarpus officinalis</i>	3.54	4.33
<i>Thespesia populnea</i>	2.61	4.05

Tabla 8

Promedio de producción de hojas (g) por especie en el área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas

Especie	Producción de hojas
<i>Annona glabra</i>	0.44
<i>Pterocarpus officinalis</i>	0.29
<i>Thespesia populnea</i>	7.49

Tabla 9

Promedio de la producción de hojarasca (g/m² día) de las especies arbóreas del área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas.

Especie	Promedio de producción de hojarasca
<i>Annona glabra</i>	0.22
<i>Pterocarpus officinalis</i>	0.12
<i>Thespesia populnea</i>	1.48

Tabla 10

Promedio del pH en el suelo por especie en el área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas

Especie	pH promedio
<i>Annona glabra</i>	6.7
<i>Pterocarpus officinalis</i>	6.5
<i>Thespesia populnea</i>	6.25

Tabla 11

Tabla de salinidad de las muestras de agua en el área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas

# de Muestra	Posición geográfica	Refractómetro	Multiparámetro
1	18° 26.600N / 66°09.385W	0%	0 ppm
2	18° 26.599 N / 66°09.379W	0%	0ppm
3	18°26.569N / 66°09.361W	0%	0ppm
4	18° 26.626N / 66°09.383W	0%	0ppm
5	18° 26.628N / 66°09.379W	0%	0ppm
6	18° 26.633N / 66°09.382W	0%	0ppm

Tabla 12

Resultado del análisis cualitativo de las muestras de agua en el área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas

# MUESTRA	Amonio	pH	Cloro	Cromo	Cobre	Cianuro	Hierro	Nitratos	Fosfatos	Sílice	sulfuros
1	+	8	-	-	-	-	+	-	+	+	-
2	+	8	-	-	-	-	+	-	+	+	-
3	+	8	-	-	-	-	+	-	+	+	-
4	+	8	-	-	-	-	+	-	+	+	-
5	+	8	-	-	-	-	+	-	+	+	-
6	+	8	-	-	-	-	+	-	+	+	-

Tabla 13

Correlación entre el pH de las muestras de suelo y la producción de hojarasca en el área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas

Especie	pH promedio	Producción de hojarasca promedio(g/m ² día)	Correlación
<i>Annona glabra</i>	6.7	0.22	-0.29
<i>Pterocarpus officinalis</i>	6.5	0.12	0.11
<i>Thespesia populnea</i>	6.25	1.49	0.64

Tabla 14

Correlación entre el pH de las muestras de suelo y el área basal de las especies arbóreas del área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas

Especie	pH promedio	Área basal promedio (m ²)	Correlación
<i>Annona glabra</i>	6.7	0.00093	0.24
<i>Pterocarpus officinalis</i>	6.5	0.0012	0.33
<i>Thespesia populnea</i>	6.25	0.00071	-0.75

Tabla 15

Correlación entre el pH de las muestras de suelo y la altura de las especies arbóreas del área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas.

Especie	pH promedio	Altura promedio (m)	Correlación
<i>Annona glabra</i>	6.7	3.33	0.14
<i>Pterocarpus officinalis</i>	6.5	4.33	0.35
<i>Thespesia populnea</i>	6.25	4.05	0.004

Tabla 16

Correlación entre el pH de las muestras de suelo y el diámetro (cm) de las especies arbóreas del área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas.

Especie	pH promedio	Diámetro (cm) promedio	Correlación
Annona glabra	6.7	2.94	0.32
Pterocarpus officinalis	6.5	3.54	0.23
Thespesia populnea	6.25	2.61	-0.68

FIGURAS



Figura 1

Mapa de ubicación del área de estudio de la ciénaga Las Cucharillas

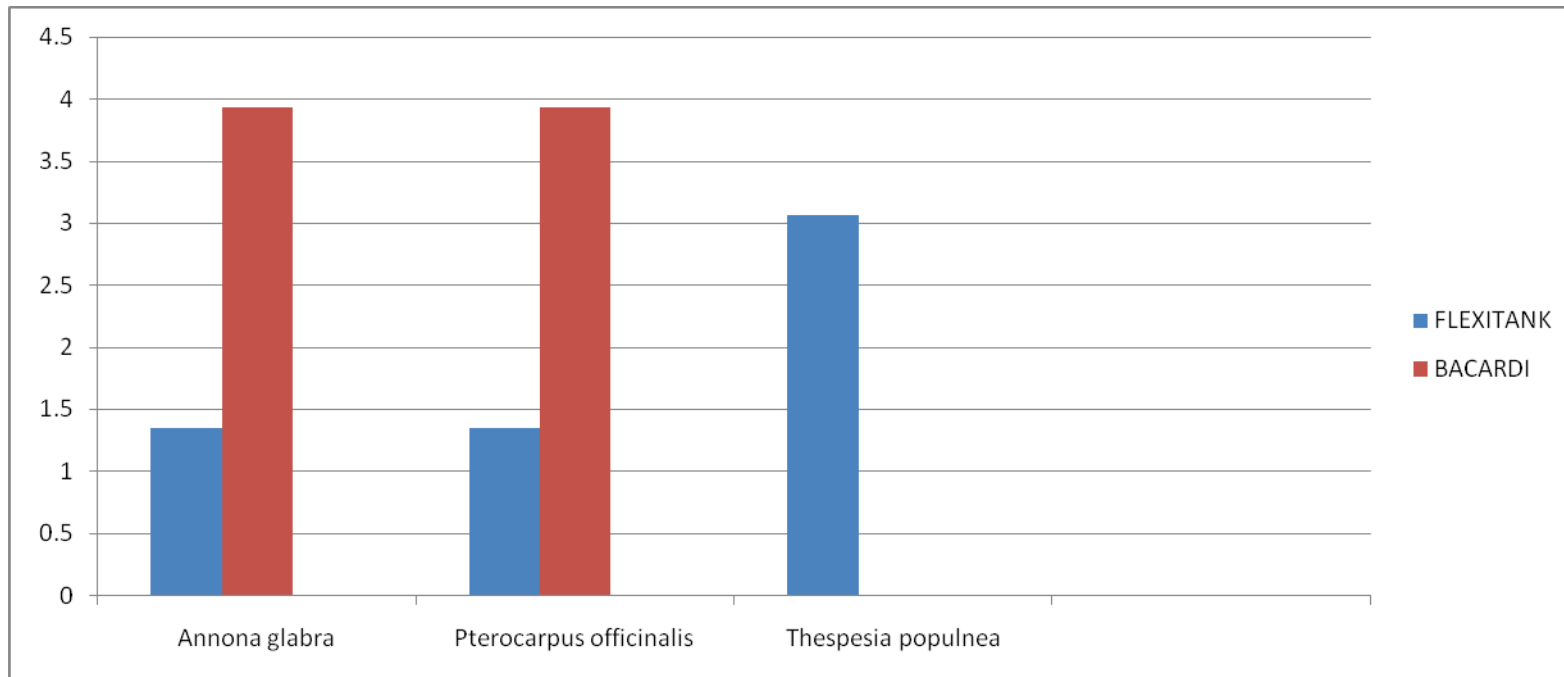


Figura 2
Promedio de producción de hojas de las especies arbóreas por área mitigada en la ciénaga Las Cucharillas

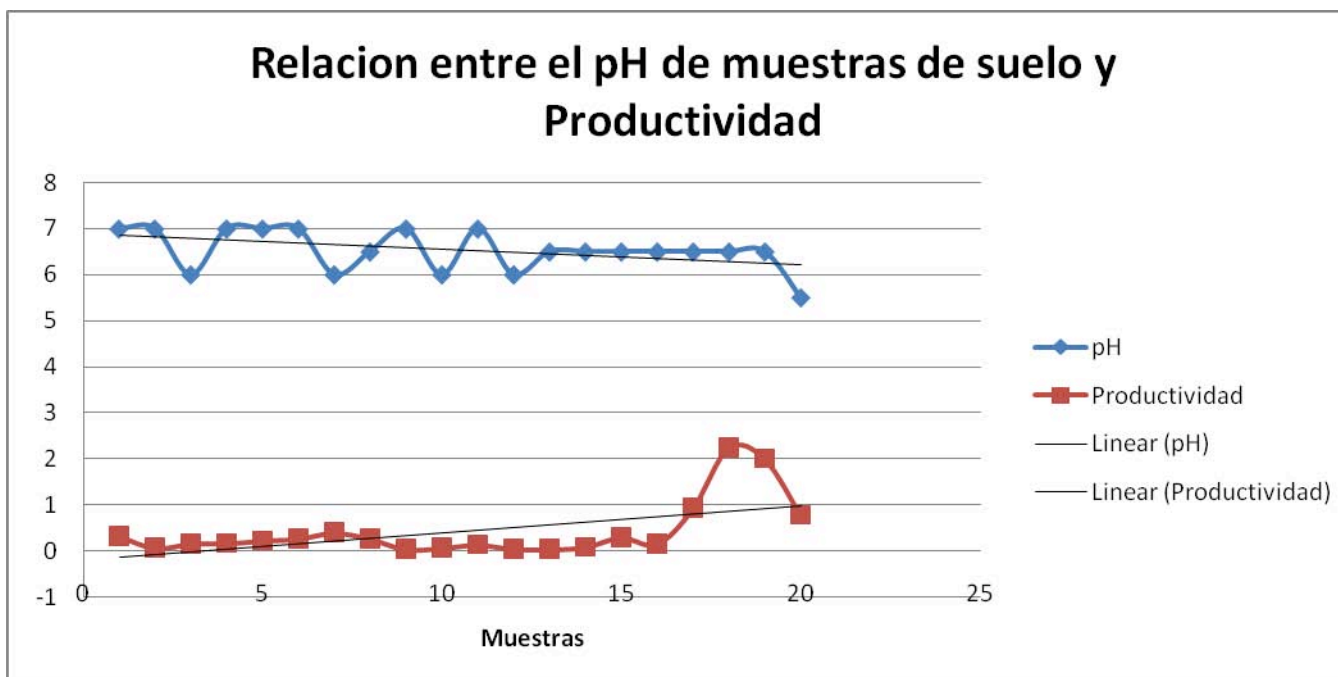


Figura 3

Correlación entre el pH de las muestras de suelo y la productividad primaria de las especies arbóreas de el área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas

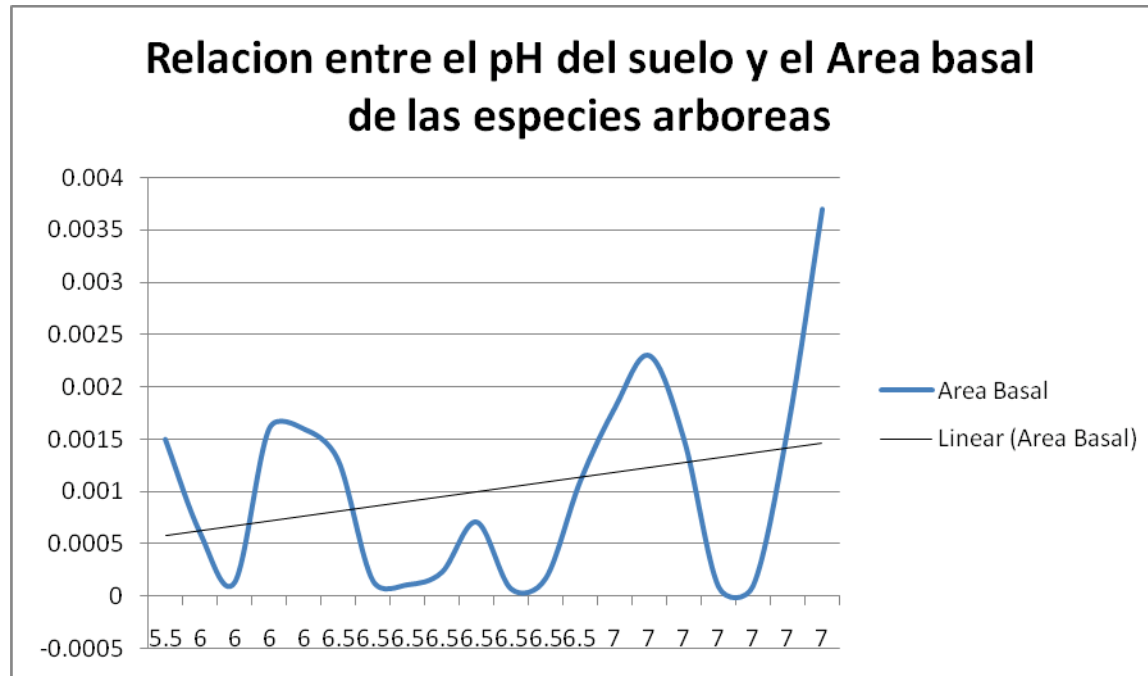


Figura 4
Correlación entre el pH del suelo y el área basal de las especies arbóreas del área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas.

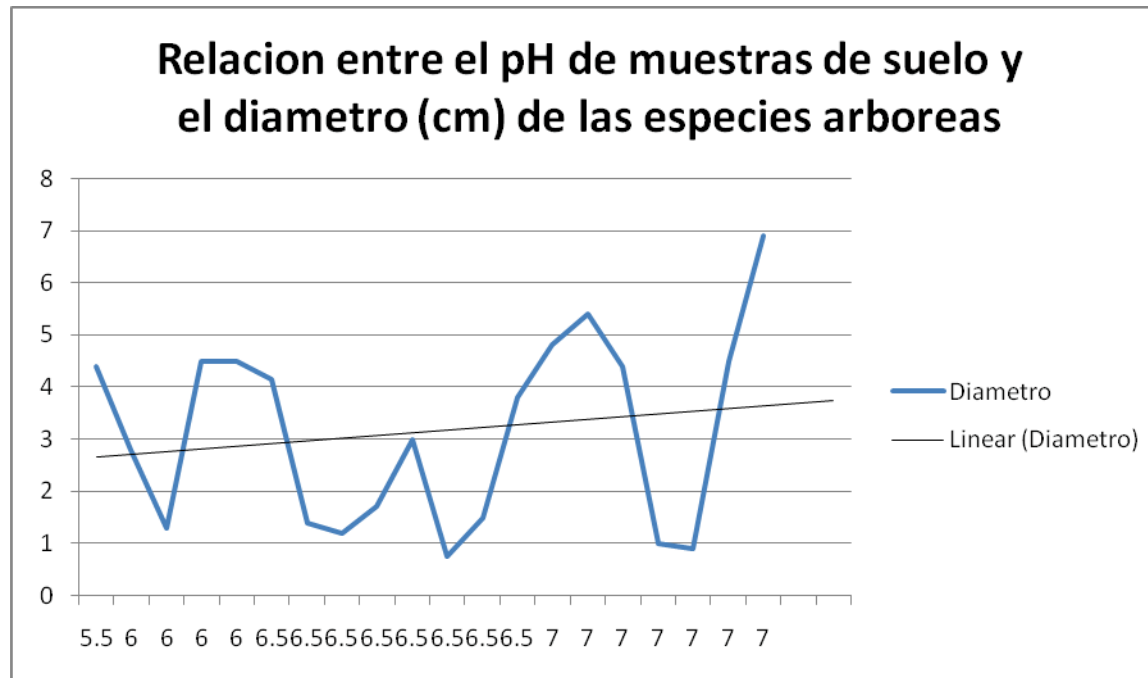


Figura 5
 Correlación entre el pH de las muestras de suelo y el diámetro (cm) de las especies arbóreas del área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas

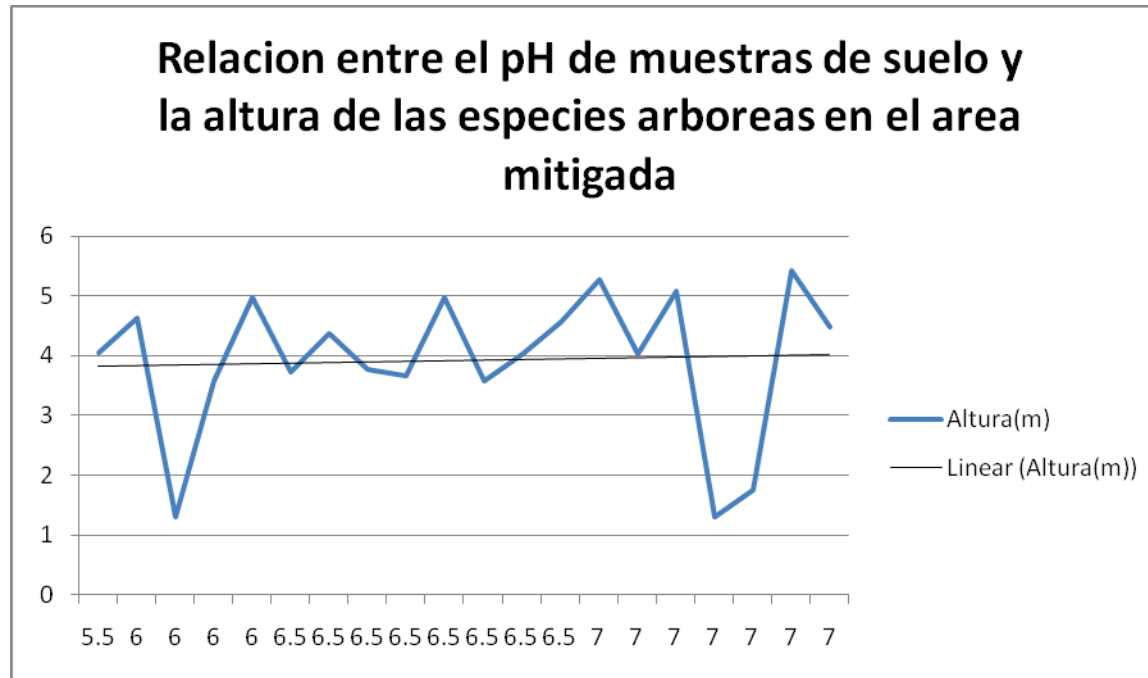


Figura 6
 Correlación entre el pH de las muestras de suelo y la altura (m) de las especies arbóreas en el área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas.

APÉNDICE 1

Tarjetas de los estuches de muestras de suelo

LAB-AIDS® #19 A QUALITATIVE INTRODUCTION TO WATER POLLUTION KIT
Student Worksheet and Guide

This kit provides the necessary materials and methods for detecting various common water pollutants.

1. Read the instructions carefully before starting any experiment. Measure the chemicals carefully.
2. It is essential that all materials used be clean in order to obtain accurate results.
3. Replace caps and covers of vials and bottles immediately after use to prevent contamination.
4. Where possible, water samples should be drawn closely as possible to the source of supply. Avoid turbulence or air bubbles when filling sample bottles. Fill at a 45° angle.
5. Carefully record procedures and observations for each sample tested.

I Ammonia nitrogen

Procedure:

1. Measure a 10 mL water sample into the calibrated tube.
2. Add 1 drop of Ammonia Test Sol. #1 to the water sample. Mix.
3. Add 8 drops of Ammonia Test Sol. #2 to the water sample. Mix.
4. If ammonia nitrogen is present in sample, a yellow color will develop. Allow 8-10 minutes for full color development. (Note: The sample can be poured into the large well of the Chemplate® to await the time.)

II pH

Procedure:

1. Place a small sample of the water to be tested (8-10 drops) in a cavity of the Chemplate®.
2. Add 1 drop of Universal pH Indicator and mix with the plastic spatula. Compare the color that immediately appears with the list below:

pH 1	cherry red	pH 6	yellow
pH 2	rose	pH 7	yellow-green
pH 3	red-orange	pH 8	green
pH 4	orange-red	pH 9	blue-green
pH 5	orange	pH 10	blue

III Chlorine

Procedure:

1. Fill a Chemplate® cavity approximately 2/3 full with the water to be tested.
2. Add 2 drops of Chlorine Test Solution and mix with the plastic spatula.
3. If chlorine is present, a yellow color will develop. Allow 5 minutes for full color development.

IV Chromium (Chromate)

Procedure:

1. Measure a 10 mL water sample in a calibrated tube.
2. Add 2 drops of Chromium Extracting Solution to the water sample. Place cap on calibrated tube and shake.
3. Add a level spatula of the Chromate Indicator Powder. Replace the cap and mix the sample until the powder is dissolved.
4. A reddish-purple color forms in the presence of chromate and the amount of color is directly proportional to the amount of chromium (chromate) present in the sample.

V Copper

Procedure:

1. Fill a Chemplate® cavity approximately 2/3 full with a sample of the water.
2. Add 1 drop of Copper Test Sol. #1. Mix and allow to stand for 1 minute.
3. Add 2-3 drops of Copper Test Sol. #2. Mix and allow to stand at least 2 minutes but not more than 10 minutes.
4. An orange colored solution indicates the presence of copper.

VI Cyanide

Procedure:

1. Measure a 10 mL water sample into the calibrated tube.
2. Add 2 drops of Cyanide Test Sol. #1 and mix.
3. Add 2 drops of Cyanide Test Sol. #2 and mix.
4. If cyanide is present, a pink color will develop which turns violet in a few minutes. Allow approximately 10 minutes for the color to develop.

VII Iron

Procedure:

1. Measure a 5 mL water sample in the calibrated tube.
2. Add 5 drops of Iron Test Sol. #1. (This is 5% Sulfuric acid – be careful.)
3. Add 1 level spatula of Iron Indicator Powder to the sample. Replace the cap and mix to dissolve.
4. If iron is present, a wine red color will develop. Allow 2 minutes for full color development.

**LAB-AIDS® #19 A QUALITATIVE INTRODUCTION TO WATER POLLUTION KIT
Student Worksheet and Guide**

This kit provides the necessary materials and methods for detecting various common water pollutants.

1. Read the instructions carefully before starting any experiment. Measure the chemicals carefully.
2. It is essential that all materials used be clean in order to obtain accurate results.
3. Replace caps and covers of vials and bottles immediately after use to prevent contamination.
4. Where possible, water samples should be drawn closely as possible to the source of supply. Avoid turbulence or air bubbles when filling sample bottles. Fill at a 45° angle.
5. Carefully record procedures and observations for each sample tested.

I Ammonia nitrogen

Procedure:

1. Measure a 10 mL water sample into the calibrated tube.
2. Add 1 drop of Ammonia Test Sol. #1 to the water sample. Mix.
3. Add 8 drops of Ammonia Test Sol. #2 to the water sample. Mix.
4. If ammonia nitrogen is present in sample, a yellow color will develop. Allow 8-10 minutes for full color development. (Note: The sample can be poured into the large well of the Chemplate® to await the time.)

II pH

Procedure:

1. Place a small sample of the water to be tested (8-10 drops) in a cavity of the Chemplate®.
2. Add 1 drop of Universal pH Indicator and mix with the plastic spatula. Compare the color that immediately appears with the list below:

pH 1	cherry red	pH 6	yellow
pH 2	rose	pH 7	yellow-green
pH 3	red-orange	pH 8	green
pH 4	orange-red	pH 9	blue-green
pH 5	orange	pH 10	blue

III Chlorine

Procedure:

1. Fill a Chemplate® cavity approximately 2/3 full with the water to be tested.
2. Add 2 drops of Chlorine Test Solution and mix with the plastic spatula.
3. If chlorine is present, a yellow color will develop. Allow 5 minutes for full color development.

IV Chromium (Chromate)

Procedure:

1. Measure a 10 mL water sample in a calibrated tube.
2. Add 2 drops of Chromium Extracting Solution to the water sample. Place cap on calibrated tube and shake.
3. Add a level spatula of the Chromate Indicator Powder. Replace the cap and mix the sample until the powder is dissolved.
4. A reddish-purple color forms in the presence of chromate and the amount of color is directly proportional to the amount of chromium (chromate) present in the sample.

V Copper

Procedure:

1. Fill a Chemplate® cavity approximately 2/3 full with a sample of the water.
2. Add 1 drop of Copper Test Sol. #1. Mix and allow to stand for 1 minute.
3. Add 2-3 drops of Copper Test Sol. #2. Mix and allow to stand at least 2 minutes but not more than 10 minutes.
4. An orange colored solution indicates the presence of copper.

VI Cyanide

Procedure:

1. Measure a 10 mL water sample into the calibrated tube.
2. Add 2 drops of Cyanide Test Sol. #1 and mix.
3. Add 2 drops of Cyanide Test Sol. #2 and mix.
4. If cyanide is present, a pink color will develop which turns violet in a few minutes. Allow approximately 10 minutes for the color to develop.

VII Iron

Procedure:

1. Measure a 5 mL water sample in the calibrated tube.
2. Add 5 drops of Iron Test Sol. #1. (This is 5% Sulfuric acid – be careful.)
3. Add 1 level spatula of Iron Indicator Powder to the sample. Replace the cap and mix to dissolve.
4. If iron is present, a wine red color will develop. Allow 2 minutes for full color development.

APÉNDICE 2

Tarjetas del estuche de muestra cualitativa de agua

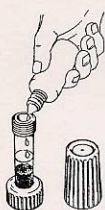
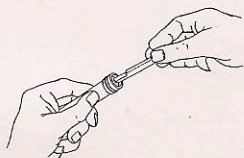
PHOSPHORUS TEST

Test Solutions: P1 Phosphorus Extractant - P2 Phosphorus Reactant

This nutrient is necessary for strong root growth and root vegetables. It helps in the formation of buds and healthy stems. A lack of phosphorus will stunt the growth of a plant.

Preparing the filtering device

Unscrew the cap on the filtering device and remove plunger. Place one of the filter papers into the bottom of the plunger, ensuring a neat fit by using the end of the spoon. (NB: if the soil is particularly clay based or the solution that comes through is too cloudy, use two filter disks together)



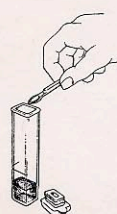
Filtering the nutrients

Fill the barrel to the 0.5ml mark with the dry soil and add P1 test solution to the 2ml mark. Insert plunger just inside barrel of device and gently shake mixture for 30 seconds.



2.0ml

Press the plunger down slowly until it touches the mixture, place on the cap and screw down slowly until you see the solution filter into the plunger. Compress out as much solution as is possible without forcing the cap.



Unscrew the cap and pour solution into one of the test tubes to the 1ml mark. Now add 1/2 spoon of P2 powder using the narrow end of the spoon.

Cap test tube and shake gently for 5 seconds and take the colour reading immediately. Put the test tube onto the white part of the card and look down the tube to assess the colour against the reading chart.



P

NITRATE TEST

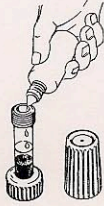
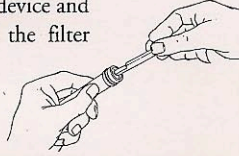
Test Solutions: N1 Nitrogen Extractant - N2 Nitrogen Reactant

This nutrient is essential for the growth of vegetation, especially grass and leafy plants. The right amount of nitrogen allows for healthy growth but too much is equally damaging and will affect the plants structure.

Preparing the filtering device

Unscrew the cap on the filtering device and remove plunger. Place one of the filter papers into the bottom of the plunger, ensuring a neat fit by using the end of the spoon.

(NB: if the soil is particularly clay based or the solution that comes through is too cloudy, use two filter disks together)



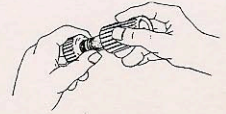
Filtering the nutrients

Fill the barrel to the 1ml mark with the dry soil and add N1 test solution to the 2.5ml mark. Insert plunger just inside barrel of device and gently shake mixture for 30 seconds.

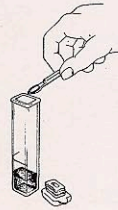


2.5

Press the plunger down slowly until it touches the mixture, place on the cap and screw down slowly until you see the solution filter into the plunger. Compress out as much solution as is possible without forcing the cap.



Unscrew the cap and pour solution into one of the test tubes to the 1ml mark.



Now add one level spoon of N2 powder. Cap the test tube and gently shake for 10 seconds and stand for 5 minutes and compare with the reading chart.



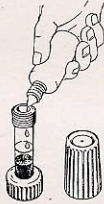
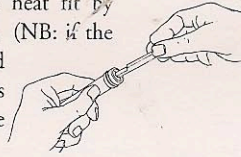
POTASSIUM TEST

Test Solutions: K1 Potassium Extractant - K2 Potassium Reactant

This nutrient is important in the development of flowers and shrubs, the correct potassium levels ensure that flowers become more fragrant and have improved colour. In vegetables, it ensures a better quality crop and also makes plants more resistant to disease.

Preparing the filtering device

Unscrew the cap on the filtering device and remove plunger. Place one of the filter papers into the bottom of the plunger, ensuring a neat fit by using the end of the spoon. (NB: if the soil is particularly clay based or the solution that comes through is too cloudy, use two filter disks together)



Filtering the nutrients

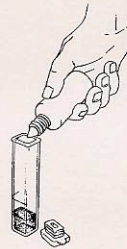
Fill the barrel to the 0.5ml mark with the dry soil and add K1 test solution to the 2ml mark. Insert plunger just inside barrel of device and gently



2-0ml.

shake mixture for 30 seconds.

Press the plunger down slowly until it touches the mixture, place on the cap and screw down slowly until you see the solution filter into the plunger. Compress out as much solution as is possible without forcing the cap.



Unscrew the cap and pour solution into one of the test tubes to the 1ml mark. Now add K2 test solution to the 1.5ml mark. Let the solution stand for 5 minutes before taking a reading. The solution will have degrees of cloudiness according to how much potassium is present. Place the test tube on the square printed over the black and shaded rectangles in the reading chart.

Place on the high reading first and move it down the chart until one of the boxes is just visible.

K

pH TEST

Test Solutions: pH Indicator - Barium Sulphate

Ground Mixed Lime - this is a mixture of chalk or limestone and burnt lime which is ground together.

When using lime to counteract soil acidity, the soil should be checked before the next crop is sown. The lime should be applied well before the sowing or planting out of the crops as it may take some months for the lime to correct the soil acidity completely.

Best pH Levels for Nutrient Availability

Nutrient	pH Levels
Nitrogen	6 - 8
Phosphorus	6.5 - 7.5
Potash	6.0 upwards
Calcium	6.5
Magnesium	6.5
Iron	4 - 6.5
Manganese	5 - 6.5
Boron	5 - 7
Copper/Zinc	5 - 7

Mushrooms

When growing mushrooms, some form of lime should be used

in the soil covering or when casing the beds. The soils for the casing need to have a pH of around 7 - 8. As some peats are very acid the pH should be adjusted before use.

Fruit & Hops

As with most plants, fruits and vegetables are most comfortable with a pH of around 6.5. Strongly acid soils can give rise to toxicity.

Mature hops can tolerate a reasonable degree of soil acidity but young hop plants are more sensitive to acidity.

Glasshouse Crops

As soils under glass are watered artificially, this has important effects on the lime content of the soil. Where hard water is used the quantities of chalk from the water absorbed by the soil during water application can result in a soil pH of over 7. Where water is soft, leaching may be more severe than in field soils and regular pH checks are necessary. For most common glasshouse crops the most favourable soil pH range for mineral soils and loam based potting composts is 6 - 6.5, for loamless composts the corresponding pH range is 5.5- 5.8.

APENDICE #3

Identificación de especies arbóreas en el área mitigada



Parte del equipo de investigación identificando las especies arbóreas.
Fotografía tomada por Berenice Arana el día 22 de agosto de 2008-11-11



Determinando la posición geográfica de las especies arbóreas seleccionadas.
Fotografía tomada el 22 de agosto de 2008

APÉNDICE 4

Fotografías de colocación de canastas



Colocando las canastas y determinando su posición geográfica
Fotografía tomada el 28 de agosto de 2008



Canasta colocada en la especie *Annona glabra*
Fotografía tomada por Berenice Arana el 28 de agosto de 2007

APENDICE #5
Recolección de hojarasca



Fotografía tomada el 24 de octubre de 2008



Fotografía tomada por Berenice Arana el 24 de octubre de 2008-11-11

APÉNDICE 6

Fotografías medida de parámetros forestales

FOTOS MEDIDA DE PARAMETROS FORESTALES



Medición de la altura usando la regla tangente y cinta métrica
Fotografía tomada el 29 de octubre de 2008



Medición de la altura con la regla tangente y cinta métrica
Fotografía tomada el 29 de octubre de 2008-11-11