

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

**EVALUACIÓN APORTACIÓN DE NUTRIENTES EN EL ÁREA MITIGADA DE  
LA CIÉNAGA LAS CUCHARILLAS EN CATAÑO**

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

Por

Maura Torres Sánchez

12 de mayo de 2010

## DEDICATORIA

*A mi amada madre Sara Sánchez  
mi fiel creyente en el cielo se que  
celebras este triunfo y perdonas  
el tiempo que le dedique  
a este estudio sacrificando  
tus últimos momentos terrenales.  
A mi esposo, Juan Valentín y mis amados  
hijos, Christian, Kristie M. y Christopher  
mis grandes colaboradores y consoladores  
gracias por ser parte de este logro.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a la Propuesta PICAA por iniciarme en la educación Ambiental y a todos los Profesores que formaron parte de esta propuesta, especialmente a la Prof. María Vilches, siempre guardaré tu apoyo espiritual durante la enfermedad y deceso de mi amada madre. Mi admiración y agradecimiento al Prof. Alexis Molinares por las lecciones en los ecosistemas de Puerto Rico, siempre serán atesoradas, soy tu seguidora en la práctica de armonizar y aplicar lo aprendido en el “field”. A todos mis profesores mil gracias por aportar desde el inicio hasta la culminación del grado de Maestría. Gracias por llenar mis expectativas, gracias por convertirme en agente de cambio para que mis estudiantes reciban una educación formal sobre nuestro planeta.

Gracias Carlitos Morales, por ser mi Director de Tesis, encontré en la Galaxia de mis vivencias a una estrella que guió y me dedicó tiempo, con calidad, tiempo y dedicación, gracias por creer en mí. Agradezco a la Prof. María Calixta Ortiz por su disposición, por la prestación de materiales para realizar mi investigación, por ser el enlace para recibir la beca ambiental de la Fundación Toyota. Al Dr. Carlos Padín por su entusiasmo y compromiso con la educación y la conservación de la Ciénaga Las cucharillas.

Mi más expresivo agradecimiento a Dr. Juan C. Musa por su aportación a mi investigación. Sus vivencias lograron convertirse en un tesoro invaluable para enriquecer mi tesis. Gracias Berenice Arana, llegue a Cucharillas por ti, abriste puertas yo seguí tu sendero. Eres un ser bondadoso e inspirador. A la Sra. Milka Miranda por su colaboración en la edición del capítulo uno de este estudio y sus consejos para realizar la presentación de defensa.

Agradezco a la Fundación Toyota por su programa de becas ambientales para los estudiantes que estamos comprometidos con la protección de nuestros tesoros ambientales, como la Ciénaga Las Cucharillas en Cataño. A las empresas Bacardí por el acceso y la disposición para permitir la recopilación de datos de mi investigación.

A mi admirable esposo, Juan Valentín por tu entendimiento, por acompañarme en este sendero, por nuestros viajes a Cucharillas, por ser mi asistente especial. Gracias por darme la libertad para crecer profesionalmente. Perdóname por la cantidad de tiempo. A mis hijos soles míos, Kristie M. Valentín y Christopher Valentín flores mías su aroma queda impregnado en estas páginas por inspirarme y sostenerme con sus pensamientos positivos, quedará siempre en mi sus palabras: "mami tu puedes". A la memoria de mi amado hijo Christian se que en el cielo celebras este triunfo y te regocijas con abuela mother.

A mis apreciados compañeros de estudios, quiénes formaron el team de apoyo, estudios y sabios consejos: María Isabel Ramírez, María Teresa Laborde Medina, Ángel Betancourt, Natty Cruz, María Cruz y demás compañeros de la propuesta PICAA.

Al Sr. Edgardo Ramírez por traducir el resumen de la investigación, agradezco infinitamente tu colaboración. Al Sr. Aníbal Aponte por aportar el material para hacer las bolsas de descomposición.

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE APÉNDICES.....	x
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b>	
Trasfondo del problema.....	1
Problema de estudio.....	5
Justificación de estudio.....	8
Pregunta de Investigación.....	9
Meta.....	9
Objetivos.....	9
<b>CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
Trasfondo histórico.....	10
Marco conceptual.....	13
Humedales.....	13
Clasificación.....	14
Distribución.....	15
Beneficios que nos brindan los humedales.....	17
Humedales impactados en Puerto Rico.....	22
Restauración y Creación de Humedales.....	24
Nutrientes en los humedales.....	25
Estudios de Casos.....	27
Marco legal.....	31
Leyes Estatales.....	31
Reglamentos.....	34
Leyes Federales.....	35
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA</b>	
Área de Estudio.....	37
Período del estudio.....	37
Evaluación de tasa de degradación de hojarasca de las especies arbóreas.....	38
Evaluación de nutrientes de nutrientes en hojas y liberación.....	39
Evaluación de parámetros en suelo.....	40
Recomendaciones para el manejo y conservación que aporten a la restauración del humeda.....	40
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
Introducción.....	41
Comparación de los datos obtenidos sobre la tasa de descomposición.....	41
Comparación de los datos obtenidos sobre nutrientes en hojas.....	43
Nitrógeno.....	44
Potasio.....	45

Fósforo.....	45
Calcio.....	46
Magnesio.....	47
Comparación de los datos obtenidos en nutrientes, MO y pH en suelo.....	47
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
Conclusiones.....	50
Recomendaciones.....	52
Limitaciones.....	54
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>55</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Ubicación geográfica de las especies arbóreas en área de estudio en Ciénaga Las Cucharillas.....	63
Tabla 2.	Datos climatológicos por la estación de Palo Seco.....	64
Tabla 3.	Parámetros climatológicos en área de estudio.....	65
Tabla 4.	Datos de masa de las hojas en área de estudio de las especies arbóreas.....	66
Tabla 5.	Tasa descomposición de las especies arbóreas en área de estudio.....	67
Tabla 6.	Correlación de <i>k de hojas</i> y porcentaje de masa liberada por las especies arbóreas en área de estudio .....	68
Tabla 7.	Tasa de descomposición de nutrientes a los 64 días de las especies arbóreas en área de estudio.....	69
Tabla 8.	Porcentaje de nitrógeno en las hojas.....	70
Tabla 9.	Porcentaje de potasio en hojas.....	71
Tabla 10.	Porcentaje de fósforo en hojas.....	72
Tabla 11.	Porcentaje de calcio en hojas.....	73
Tabla 12.	Porcentaje de magnesio en hojas.....	74
Tabla 13.	Características químicas en el suelo en al inicio del estudio .....	75
Tabla 14.	Características químicas en el suelo al final del estudio .....	76

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de distribución de humedales a nivel mundial.....	78
Figura 2.	Mapa de la Ciénaga Las Cucharillas en Cataño.....	79
Figura 3.	Mapa localización de especies arbóreas en área de estudio.....	80
Figura 4.	Correlación tasa descomposición de especies arbóreas en área de estudio.....	81
Figura 5.	Correlación tasa descomposición de especies área uno.....	82
Figura 6.	Correlación tasa descomposición de especies área dos.....	83
Figura 7 .	Correlación tasa descomposición de <i>P. officinalis</i> .....	84
Figura 8 .	Correlación tasa descomposición de <i>T. populnea</i> .....	85
Figura 9 .	Correlación tasa descomposición de <i>A. glabra</i> .....	86
Figura 10.	Correlación porcentaje de nitrógeno en hojas al inicio del estudio.....	87
Figura 11.	Correlación porcentaje de potasio en hojas al inicio del estudio.....	88
Figura 12.	Correlación porcentaje de calcio en hojas al inicio del estudio.....	89
Figura 13.	Correlación porcentaje de fósforo hojas al inicio del estudio.....	90
Figura 14.	Correlación porcentaje de magnesio en hojas al inicio del estudio.....	91
Figura 15.	Correlación tasa de liberación de nutrientes al finalizar estudio.....	92



## LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1.	Resultados Agrológico en Dorado.....	93
Apéndice 2.	Foto área mitigada de la Ciénaga Las Cucharillas.....	103
Apéndice 3.	Fotos de las especies arbóreas.....	105
Apéndice 4.	Foto pesaje de hojas.....	110
Apéndice 5.	Fotos colocación de bolsas de descomposición.....	112
Apéndice 6.	Foto midiendo: temperatura, humedad .....	117
Apéndice 7.	Foto tomando muestras de suelo .....	119

## LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

A <sub>1</sub>	área mitigada por la Bacardí
A <sub>2</sub>	área mitigada por Flexitank
A1	<i>Annona glabra</i> área uno
A2	<i>Annona glabra</i> área dos
APE	Área de Planificación Especial
Ca	calcio
cm	centímetros
g	gramos
JCA	Junta de Calidad Ambiental
k	constante de descomposición
K	potasio
Km <sup>2</sup>	kilómetros cuadrados
ln	logaritmo
Mg	magnesio
MO	materia orgánica
MR	masa remanente
MS	materia seca
N	nitrógeno
P	fósforo
P1	<i>Pterocarpus officinalis</i> área uno
P2	<i>Pterocarps officinalis</i> área dos
PEBSJ	Plan Estuario Bahía de San Juan
ppm	partes por millón

r	coeficiente de correlación de Pearson
RNCC	Reserva Natural de la Ciénaga Las Cucharilla
t	tiempo
T1	<i>Thespesia populnea</i> área uno
T2	<i>Thespesia populnea</i> área dos
$X_0, W_0$	peso seco inicial
$X_1, W_1$	peso seco en diferentes tiempos

## RESUMEN

La descomposición de la hojarasca es importante para los procesos vitales y las relaciones tróficas que se realizan en los suelos de los humedales, de ésta dependen los ciclos bioquímicos y las transformaciones de la materia orgánica en los ecosistemas. En este estudio evaluamos la velocidad de descomposición ( $k$ ) de hojas amarillas de las especies: *Pterocarpus officinalis*, *Annona glabra* y *Thespesia populnea*, mediante la técnica de bolsas de descomposición durante 64 días entre los meses de septiembre a noviembre de 2009 en dos áreas mitigadas en la Ciénaga Las Cucharillas en Cataño, Puerto Rico. La mitigación realizada por la empresa Bacardí la denominamos área uno y la mitigación realizada por la empresa Flexitank la denominamos área dos. Colocamos 18 bolsas de descomposición con dos gramos de hojas de cada especie en ambas áreas mitigadas, las cuales se retiraron de forma duplicada (2, 4, 8, 16, 32, 64) días de exposición en el suelo. Las tasas de descomposición resultaron altas para la *Annona glabra* del área uno con  $0.62 \text{ (g día}^{-1}\text{)}$  la más baja de  $0.16 \text{ (g día}^{-1}\text{)}$  para el *Pterocarpus officinalis* del área uno durante los dos días iniciales, luego éstas tasas decrecieron con el tiempo hasta que se estabilizaron con  $k$  de  $0.05$  y  $0.02 \text{ (g día}^{-1}\text{)}$  al finalizar la investigación en todas las especies. La constante de la pérdida de peso en función al tiempo ( $k$ ) siguió el modelo exponencial simple por la degradación de los compuestos más solubles en primer lugar, ésta etapa es conocida como lavado y en segundo lugar la degradación resultó más lenta por los compuestos más complejos. La liberación de los bioelementos dependió de la descomposición y se relacionó con la pérdida de peso. El orden de liberación fue:  $K > Ca > P > Mg > N \text{ (k día}^{-1}\text{)}$  en hojas. El potasio fue liberado con mayor rapidez por la lixiviación sin embargo el nitrógeno resultó con fluctuaciones durante la descomposición lo cual esta relacionado con la dinámica de la flora bacteriana. La *Annona glabra* resultó la especie con mayor aportación de nutrientes y de materia orgánica con un 83% de masa liberada. No se encontraron diferencias significativas en las  $k$  entre las especies, tampoco entre las dos áreas mitigadas de la ciénaga.

## ABSTRACT

The decomposition of leaf litter is important for life processes and trophic relationships that take place in the wetlands soil; this depends on biogeochemical cycles and transformations of organic matter in ecosystems. This study estimated the rate of decomposition ( $k$ ) of leaves of selected species: *Pterocarpus officinalis*, *Annona glabra* and *Thespesia populnea* using the decomposition bag technique for 64 days between September and November 2009 in two areas mitigated in the Cucharillas Swamp in Cataño, Puerto Rico. The mitigation performed by the Bacardi Company we designated as area one and the mitigation made by the Flexitank Company we designated area two. We placed 18 decomposition bags with two grams of leaves of each species in both mitigated areas, which we withdrew at a duplicate (2, 4, 8, 16, 32, 64) number of days of exposure in soil. Decomposition rates were higher for *Annona glabra* one area with 0.62 ( $\text{g day}^{-1}$ ) and lowest of 0.16 ( $\text{g day}^{-1}$ ) for *Pterocarpus officinalis* in area one during the initial two days, then they decreased with time until stabilized with  $k$  of 0.05 and 0.02 ( $\text{g day}^{-1}$ ) after the research was completed for all species. The constant loss of weight according to time ( $k$ ) followed the simple exponential model for the degradation of the compounds more soluble in the first place, the stage is known as leaching and secondly the more complex compounds degraded at a slower pace. The release of the bioelements depended on the decomposition and was associated with weight loss. The release minerals order was:  $\text{K} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg} > \text{N}$  ( $\text{k day}^{-1}$ ) in leaves. Potassium was released more rapidly by the leaching however; nitrogen fluctuated during decomposition, which is related to the dynamic of bacterial flora. The *Annona glabra* was the species with greater input of nutrients and organic matter with 83% of mass released. There were no significant differences in  $k$  between species or between the two areas mitigated in the swamp.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### **Trasfondo del problema**

Los humedales son ecosistemas de gran valor ecológico por su importancia en los procesos hidrológicos y ecológicos que provienen de ellos, y por la biodiversidad que sustentan, en muchos casos especies amenazadas (Vargas, 2004). Estos ecosistemas también son fundamentales en los procesos de descomposición de los residuos y el reciclaje de nutrientes que se generan de la materia orgánica debido a las relaciones entre el suelo, la vegetación y el entorno. Los descomponedores que se encuentran en el medio ambiente natural degradan la materia orgánica y otros minerales, por lo que juegan un papel importante en los ciclos biogeoquímicos para la obtención de energía y de los nutrientes necesarios (Flores & Prause, 2002).

A través de la historia, se señala que antiguas civilizaciones dependían de estos ecosistemas por los bienes económicos y los servicios ambientales. Los humedales constituían la fuente de alimento y el abasto de agua potable necesarios para su subsistencia. En tiempos pasados, las comunidades se establecían en las áreas aledañas a los humedales ya que estos sistemas les facilitaban las actividades asociadas a la agricultura, a la pesca y al desarrollo de caminos que agilizaban el intercambio de los productos adquiridos del entorno. Sin embargo, a pesar de los favores que el recurso ha suministrado y que aún suministra, es el hombre el principal perturbador de los ciclos biológicos, geológicos y químicos así como de las interacciones que ocurren en estos sistemas.

A nivel mundial se ha estimado que los humedales cubren una extensión de siete a nueve millones de kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>). Pero, en los últimos siglos la pérdida y la degradación del recurso han sido de gran preocupación ya que éstos constituyen los componentes esenciales de los ciclos biogeoquímicos y de los ecosistemas acuáticos para la conservación de la biota. Se ha señalado, a nivel internacional, que la superficie de estos recursos disminuye significativamente a causa de las actividades antropogénicas para satisfacer sus necesidades de espacio y recursos. Desde finales del siglo XIX los humedales del Caribe, inclusive los Everglades en la Florida, han sido perturbados por las actividades humanas, como la construcción de canales y estructuras para el control del agua cambiando su hidrología. Algunos de los efectos ambientales por estas perturbaciones inducen la entrada de agua salada, provocando cambios: vegetativos, en la calidad de agua y alteración del flujo original (Khuslan, 2004). En la actualidad el gobierno de los Estados Unidos invierte millones de dólares para restituir parte de los daños generados por el mal uso de estos ecosistemas

La isla de Puerto Rico posee diversidad de humedales que han sido alterados y que requieren de un manejo adecuado e inmediato para la conservación por su gran valor ecológico. La degradación de los humedales ha sido considerable debido a los cambios en los usos de la tierra asociados con las zonas urbanas de alta densidad poblacional (aeropuertos, puertos, desarrollo de viviendas, turísticos e industriales) que contribuyen con la pérdida de humedales. Las actividades agrícolas y la urbanización de las áreas cercanas a estos ecosistemas los han impactado convirtiéndolos en áreas críticas. Otras asociadas como el drenaje por bombeo; el control de salinidad con diques; la modificación de las cuencas hidrográficas; la canalización de los ríos; el establecimiento de obras para el control de inundaciones y demás obras hidráulicas de desecación de los suelos, trae consigo consecuencias como la erosión de las laderas

en las áreas de captación de agua, eliminación de las defensas naturales que este sistema provee, entre otras (Lugo, 2006).

En la región norte de la isla se encuentra uno de los humedales más impactados la Ciénaga Las Cucharillas (Ciénaga), compuesto por un humedal herbáceo extenso en el área metropolitana de San Juan, la mayor parte está localizado en el municipio de Cataño (JCA, 2005). Esta ciénaga consiste de plantas herbáceas, manglares y zonas de agua abierta en una extensión territorial de 500 hectáreas (Ha). Como ecosistema este humedal forma parte del Estuario de la Bahía de San Juan (EBSJ) con un 33% de mangles fragmentados.

Por su cercanía con el área metropolitana ha estado sujeto a una gran presión de desarrollo por el incremento poblacional de la zona. A través del tiempo los terrenos han sido mal manejados porque existía la idea errónea de que estos sistemas eran considerados como áreas improductivas y vectores de enfermedades por la presencia de criaderos de mosquitos. Esto promovió el uso indebido de los mismos utilizándolos como vertedero clandestino y otras prácticas que indujeron a la inundación de los mismos y la eventual desecación por el relleno de los terrenos con fines agrícolas por parte de intereses económicos particulares sin tomar en consideración el daño ecológico que esto les causaba (Consortio de EBSJ, 2000).

El asentamiento de comunidades aledañas a la Ciénaga Las Cucharillas de bajos ingresos sin planificación ordenada ha provocado la construcción de viviendas que carecen de un sistema adecuado de disposición de aguas usadas. Ante la falta de un sistema de tratamiento sanitario para el manejo de estas aguas, estos ecosistemas reciben las descargas directas lo que ha provocado serios problemas ambientales en la zona. Estas descargas han causado problemas a los organismos que viven en las raíces de los humedales, afectándose así las actividades bióticas (López, 2009) y la transparencia del agua. Además, las canalizaciones de los ríos y el manejo de las



aguas de escorrentías han causado la degradación ecológica del humedal (Arana, 2008).

A pesar de los impactos asociados a las necesidades humanas, la Ciénaga Las Cucharillas continúa siendo un ecosistema de gran valor ecológico. Su importancia como ecosistema ha motivado a entidades comunitarias, universidades y entidades sin fines de lucro a trabajar con las agencias de gobierno en la protección, la restauración y la conservación de la misma. Sin embargo, más de la mitad de las 36 cuerdas que forman parte de este humedal son terrenos privados y sólo un 13.9% de los terrenos tienen servidumbre de conservación. Esto hace más difícil la meta de armonizar los intereses económicos y ambientales en el área (Dugan, 1992).

Varias agencias de gobierno de Puerto Rico como la Autoridad de Carreteras y Transportación (ACT), el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) y empresas privadas como Toyota, han aunado esfuerzos para adquirir terrenos con el fin de mitigar las áreas afectadas y restaurar el funcionamiento de la Ciénaga. De modo que se pueda minimizar los impactos negativos y se compense parte de las pérdidas ambientales. La idea de mitigación de humedales surgió en los Estados Unidos durante la década de los '70, según lo requerido por la Ley Federal de Agua Limpia del año 1972, ante la necesidad de mitigar la pérdida de humedales ocasionados por los proyectos de desarrollo urbano.

Mediante la creación de humedales se intentan restaurar, en la medida que sea posible, el funcionamiento original de la Ciénaga previo a recibir las perturbaciones por las actividades antropogénicas de las comunidades que bordean a este ecosistema. Además para garantizar que las mitigaciones funcionen como una compensación ecológica por los daños ocasionados, es necesario recuperar la aportación de nutrientes al suelo para el crecimiento de la vegetación y el restablecimiento de la funcionalidad ecológica de los humedales. El funcionamiento sustentable de un sistema se basa en el

mantenimiento y estabilidad de su productividad y el capital de nutrientes (Cuevas & Medina, 1998).

En el caso de Las Cucharillas se proyecta compensar el daño causado al ecosistema mediante la siembra de vegetación para aumentar la aportación en la acumulación de nutrientes en los suelos y en el flujo de éstos desde el dosel al suelo por medio de la caída de hojarasca. Algunas de las especies sembradas en etapa madura son: la Emajaguilla (*Thespesia populnea*); Palo de pollo (*Pterocarpus officinalis*); Mangle negro (*Avicennia germinans*); Mangle blanco (*Laguncularia racemosa*); el árbol de María (*Calophyllum calaba*); Roble nativo (*Tabebuia heterophylla*), Maga (*Thespesia grandiflora*); Roble venezolano (*Tabebuia rosea*); Úcar (*Bucida buceras*); Almácigo (*Bursera simaruba*); Ausubo (*Manilkara bidentada*); Guayacán (*Guaiacum officinale*), entre otros.

Mediante este proyecto de investigación se intenta conocer preliminarmente la tasa de degradación o descomposición de la materia orgánica (hojarasca) y la aportación de nutrientes de tres de las especies antes mencionadas en el área de mitigación. Al presente no se ha reportado datos sobre las tasas de descomposición y el aporte de nutrientes en el área de mitigación.

### **Problema de estudio**

Para lograr un manejo exitoso en los suelos degradados es indispensable optimizar los componentes biológicos, químicos y físicos. En la productividad de los ecosistemas estos componentes son vitales en los ciclos de nutrientes y en la deposición final de la materia orgánica. Éstos están controlados por diferentes procesos microbiológicos que desempeñan un papel importante en la producción, la degradación y la mineralización de la materia orgánica. La producción de materia

orgánica, el establecimiento de la red alimentaria, el movimiento de carbono y energía, y el reciclaje de los nutrientes son aspectos trascendentales para el funcionamiento de estos ecosistemas (Sánchez, Crespo, Hernández & García 2008). La productividad es equivalente a la capacidad de proveer vida y ésta no sólo depende de la presencia de nutrientes, sino también de su disponibilidad para las plantas y de su capacidad para almacenarlos.

Un ecosistema forestal se mantiene vivo porque ocurren fenómenos ecológicos fundamentales que abonan a la descomposición de la materia orgánica, siendo ésta la entrada más importante de nutrientes para conservar la vida de estos sistemas mediante el flujo interno y externo de nutrientes (Geetha, Chandramohanakumar & Mathews, 2006). Según Flores y Prause (2002), el retorno de la materia orgánica y de los bioelementos al suelo, asociados a la hojarasca, es una de las condiciones primordiales en la renovación del ecosistema. La circulación de nutrientes dependerá de la cantidad de material reciclable y de la tasa de descomposición.

Las fluctuaciones en la producción de hojarasca están reguladas por los procesos biológicos, la especie vegetal y sus particularidades; así como por las condiciones climatológicas, edafológicas y topográficas. La acumulación de hojarasca se produce en un lapso de tiempo determinado, el depósito de estos restos orgánicos en la superficie y su descomposición permite interacciones entre la vegetación y el suelo (Sanches, Prieto, Peral, Tamburi, Caseri & Berazaín, 2003). Es importante para esto la identificación de especies arbóreas que ayuden a la restauración del ecosistema en la entrada y salida de nutrientes.

En el caso de la Ciénaga Las Cucharillas, la degradación de los suelos es uno de los factores que ha ocasionado cambios en la composición del ecosistema y su funcionamiento. Los suelos degradados tienen importantes implicaciones para la mitigación y la adaptación al cambio del clima, ya que la pérdida de biomasa y de

materia orgánica del suelo desprende carbono a la atmósfera afectándose la calidad y capacidad de mantener el agua y los nutrientes. Los suelos degradados generalmente están limitados por la disponibilidad de nitrógeno, fósforo o de potasio lo que puede afectar la productividad (Chapin, Vitousek & Van Cleve, 1986; Di Tommaso & Aarsen, 1989).

Desde el año 2002, como parte de los esfuerzos de restauración encaminados por la acción ciudadana, las agencias del gobierno y entidades no gubernamentales han realizado mitigaciones en la Ciénaga para la restauración y conservación de los recursos ecológicos existentes. Estas mitigaciones son parte del uso inteligente para el desarrollo sostenible recomendado en la Convención Ramsar sobre humedales. En los terrenos mitigados se han realizados estudios para determinar el aumento de biomasa aérea o de la caída de hojarasca por parte de personal técnico de la Universidad Metropolitana (UMET) y estudiantes graduados para evaluar el restablecimiento de la Ciénaga.

Al momento de esta investigación, no existen estudios que hayan medido el aporte de nutrientes durante la descomposición de las diferentes especies utilizadas en el área mitigada. Es necesario que se realicen estudios que midan esta aportación de nutrientes de estas especies y así determinar cuáles de las especies vegetativas aportan más nutrientes que ayuden a restablecer los ciclos vitales entre productores, consumidores y descomponedores y, por ende, a los suelos degradados. El aporte de nutrientes mediante la degradación de las hojas restablece los niveles tróficos, las funciones de la ciénaga, su valor ecológico como humedal y le devuelve su capacidad de fijar y almacenar carbono.

## **Justificación de estudio**

El Plan de Manejo de La Ciénaga Las Cucharillas (PMCC) tiene como meta proteger, restaurar y conservar las áreas de alto valor ecológico de esta reserva natural. A través de la donación de terrenos privados, entidades no gubernamentales como la Universidad Metropolitana (UMET) junto a organizaciones comunitarias como Comunidades Unidas contra la Contaminación (CUCCO) y la Fundación de humedales de Puerto Rico Wetland Foundation (PRWF, por sus siglas en inglés) han comenzado a trabajar en la implementación de la misma.

La Corporación Bacardí donó doce cuerdas de la Ciénaga a la UMET, mediante el Proyecto Ambiental Suplementario (SEP, por sus siglas en inglés) como parte de un acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental Federal (USEPA, por sus siglas en inglés) por los impactos negativos en el área industrial de Cataño. Ésta industria no cumplió con los estándares establecidos para las descargas de aguas residuales, sus acciones fueron en contra de la Ley Federal de Agua Limpia, por tal razón se crearon varios proyectos de mitigación.

Dichos proyectos de mitigación han ayudado a la restauración de este ecosistema; sin embargo, los estudios para determinar el almacenaje y el reciclado de nutrientes por las especies utilizadas en las mitigaciones hasta el momento no se han evaluado. Es de suma importancia determinar si el área mitigada en la Ciénaga ha recuperado su capacidad de generar biomasa y proyectar un perfil más claro de cómo se podrán dar los procesos de restauración en el resto del ecosistema.

La descomposición de materia orgánica es un proceso esencial en los ciclos de macronutrientes (Waksman & Tenney, 1928) y constituye probablemente un proceso ecológico complejo (Sinsabaugh & Moorhead, 1997; Sinsabaugh, Carreiro & Alvarez, 2002). Por tal razón, se hace necesario el conocimiento de la tasa de degradación y el

aporte de nutrientes de tres especies presentes en el área mitigada de la Ciénaga. De modo que se pueda recomendar estrategias de manejo para el área; de ser preciso reforestar con especies que ayuden a la restauración de los ciclos de vida de los organismos que la habitan.

### **Pregunta de Investigación**

¿Cuál es la tasa de degradación y la aportación de nutrientes por las especies utilizadas en el área mitigada en la Ciénaga Las Cucharillas?

### **Meta**

Evaluar el movimiento de nutrientes de la vegetación arbórea en el área de mitigación en la Ciénaga Las Cucharillas en Cataño para hacer recomendaciones en el manejo y conservación de este ecosistema.

### **Objetivos**

1. Evaluar la tasa de degradación de la hojarasca de las especies en el área de mitigación en la Ciénaga Las Cucharillas de Cataño.
2. Evaluar el aporte de nutrientes de las especies arbóreas presentes en el área mitigada.
3. Determinar los nutrientes y el porcentaje de materia orgánica en suelo en el área mitigada.
4. Recomendar estrategias para la reforestación para la restauración del humedal.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### **Trasfondo histórico**

Puerto Rico es una isla con vastos recursos naturales de alto valor ecológico, de estos forman parte vital los humedales. Puerto Rico y sus islitas poseen humedales en abundancia. Esto se debe a nuestro clima subtropical, a la lluvia abundante y las complejas formas topográficas y geológicas que dan origen a los humedales. Los humedales son tierras entre hábitats terrestres y de aguas profundas, donde el nivel freático está generalmente en o cerca de la superficie de terreno, el cual puede estar cubierto por aguas poco profundas (Cowardin, Carter, Golet & LaRoe, 1979).

Los humedales son ecosistemas altamente productivos para los ciclos de vida de plantas y animales, constituyen el hábitat de una gran diversidad de especies, sirven de refugio temporal a las aves migratorias, actúan también como sumideros de CO<sub>2</sub>, almacenan las aguas de inundación, ya que pueden reducir la velocidad de las aguas de los ríos y quebradas (Morzaria, Callaway, Sullivan & Zedler, 2004) retienen los sedimentos y reducen la contaminación. Estos funcionan como los riñones de la naturaleza, por las funciones que desempeñan en los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos, además se denominan los supermercados biológicos, por las extensas redes alimentarias y la rica diversidad biológica que sustentan (Kusler, Mitch & Larson, 1994).

En décadas anteriores los humedales se consideraban terrenos improductivos por desconocimiento y la falta de valoración de los bienes y servicios que ellos proveen, sin embargo, casi todos los estados de la antigüedad fueron fundados por los pueblos de los humedales. A pesar de la importancia ecológica, económica y recreativa de los

humedales las actividades realizadas por el hombre han ocasionado el deterioro y la pérdida de estos ecosistemas. Asociadas a estas actividades se encuentran: el desarrollo de urbanizaciones, rellenos sanitarios de desperdicios sólidos y vertederos, canalizaciones, bombeo excesivo de agua subterránea (intrusión salina), construcción de carreteras, relleno de sumideros, construcción de marinas, desarrollo agrícola (dragados, canalizaciones, abonos, insecticidas e herbicidas). Entre las causas para la pérdida de estos humedales están la construcción de canales asociados con el desarrollo de gas ó petróleo y la deposición de sedimentos (Dunstan, 2001).

Estas actividades también afectaron a Cataño, pueblo al noreste de Puerto Rico, el cual consta de 5.071 millas cuadradas. Para el 1873, Cataño como municipio costero sirvió como zona de intercambio de bienes y servicios por mar, lo que ocasionó la desecación de sus humedales para el asentamiento de la población en el “Camino Real de Cataño” y por formar parte de una ruta comercial desde la capital hacia el interior de la isla. Para el 1920 esta área aumento su valor para los inversionistas por el desarrollo de urbanizaciones y del expreso José de Diego, lo cual sirvió para que la Asamblea de Puerto Rico designara a estos barrios como el Municipio de Cataño en el 1927.

A la desecación de las ciénagas se unió la decisión, por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los estados Unidos de América, de construir el Caño Malaria para controlar las inundaciones para establecer almacenes y aprovechar la cercanía de Cataño con la capital. Al rellenar las áreas del humedal se interrumpe el drenaje de las aguas de escorrentías a pesar de que se canalizaron el Río Hondo y el Río Bayamón. Esta decisión fue tomada por los problemas de mosquitos transmisores de malaria, por lo cual este caño se canalizó con diques cuya amplitud aceleró el establecimiento de viviendas y el desarrollo industrial.

La Ciénaga recibe agua principalmente de este caño y escorrentías de las zonas industriales adyacentes filtrando estas aguas de contaminantes y sedimentos.



Anteriormente, este humedal estaba formado por ciénagas profundas y manglares espesos. La ciénaga ha sido utilizada como vertedero clandestino, su mayor extensión territorial monopolizada con propósitos industriales, rellena con fines agrícolas y con comunidades pobres establecidas sin alcantarillados y rellenos circundantes a Cucharillas. Los terrenos de la Ciénaga Las Cucharillas entre 1962 y el 1981 se transformaron de 792.82 cuerdas de humedales en áreas construidas, lo que, representó un impacto adverso al 38 % de los terrenos que fueron desarrollándose en actividades urbanas.

Entre el 1981 y el 2002, se incrementó el área construida a 342.87 cuerdas ocasionando la reducción de las funciones del humedal en el manejo de las aguas de escorrentías. La urbanización puede tener un impacto en las actividades de ciclo de los nutrientes principalmente debido a los cambios en la hidrología y la carga de nutrientes. Estos cambios pueden alterar la composición de las especies de plantas y el patrón del ciclo de nutrientes. Estos impactos pueden, a su vez, alterar la riqueza de especies y abundancia de las aves, los peces y las poblaciones de macroinvertebrados (Khuslan, 2004).

Además, alrededor de 36 cuerdas de humedales han sido fragmentadas por la carretera PR-165 en dos secciones, siendo la ciénaga parte del humedal herbáceo remanente; con lagunas, terrenos saturados, vegetación herbácea y remantes de mangle blanco y negro. Se ha observado que la fragmentación de los hábitats de humedales tiene efectos perjudiciales sobre la flora y la fauna, causando cambios en la composición de la comunidad y el funcionamiento de los ecosistemas (Faulkner 2004).

De acuerdo a la zonificación actual del área la mayoría de los terrenos del Municipio están clasificados como suelos urbanos. El desarrollo físico espacial ha ocupado gran parte de su territorio. Los asentamientos en este Municipio desde su origen no atendieron la calidad y capacidad de los suelos para atender este desarrollo,

por lo cual Cataño, enfrenta problemas de inundaciones, emisiones atmosféricas, congestión de tránsito, falta de infraestructura sanitaria y pluvial, por último la pérdida del funcionamiento de áreas ecológicamente sensitivas de alto valor natural.

Una de las de las prioridades en la política ambiental de todos los países y organizaciones es la de conservar y restaurar a los humedales. Es prioridad la restauración de la ciénaga Las Cucharillas por ser un área ecológicamente sensible, a pesar, de las perturbaciones que han impactado a este ecosistema, ha mantenido su función como hábitat de especies de mariposas típicas de los llanos costeros y como refugio de aves migratorias, endémicas y en peligro de extinción, además de conservar la flora característica de los humedales presentes.

Para el 27 de agosto de 2004, la ex-gobernadora de Puerto Rico, Honorable Sila Calderón, mediante la Orden Ejecutiva Num. OE-2004-49, ordenó a la Junta de Planificación la designación de un Área de Planificación Especial para delimitar y establecer la Reserva Natural de la Ciénaga Las Cucharillas. Como medida se establecieron los usos permitidos para cumplir con el uso sostenible armonizando los componentes sociales, ecológicos, ambientales y el desarrollo. Para el 2007 se designó a la Ciénaga como reserva natural para compensar las pérdidas ambientales por el mal uso de estos ecosistemas.

## **Marco conceptual**

### **Humedales**

Los humedales son áreas de transición entre sistemas acuáticos y terrestres frecuentemente inundadas o saturadas de aguas superficiales o subterráneas, durante un periodo de tiempo suficiente como para que crezca un tipo de vegetación especialmente adaptada a vivir en estas condiciones (vegetación hidrofítica). Esta definición es la más aceptada y se encuentra en el Manual Federal para la

Determinación de Jurisdicción de 1987 del Cuerpo de Ingenieros. Los humedales se clasifican de acuerdo al sistema propuesto por Cowardin y otros (1979), y es usado por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos (USFWS, por sus siglas en inglés).

La Agencia Federal de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) para el 1994, los definió a través de un reporte sobre los ecosistemas de los grandes lagos de Estados Unidos como: un área que es regularmente saturada por agua superficial o subterránea, y que se caracteriza por la prevalencia de vegetación que está adaptada a la vida en condiciones de suelos saturados (Ej. pantanos, turberas, marismas y estuarios).

La Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos para el 1995, se encargó por el congreso de Estados Unidos de definirlos como: un ecosistema que depende de inundación superficial o saturación en o cerca de la superficie del substrato, constante o recurrente. La característica esencial mínima de un humedal es la inundación recurrente, sostenida, o la saturación en o cerca de la superficie y la presencia de atributos físicos, químicos y biológicos que reflejan inundación sostenida recurrente o saturación. Los atributos comunes para diagnosticar las condiciones en que se encuentran los humedales son: suelos hídricos y vegetación hidrofítica, excepto en los casos en que factores fisicoquímicos, bióticos o antropogénicos, específicamente los removieran o impidieran su desarrollo. Nuestros humedales son por lo general llanos costeros de sedimento fino y suelto que retienen aguas de mar en marea alta, o escorrentías terrestre de agua dulce (Carrera & Lugo, 1978).

### **Clasificación de Humedales**

El Cuerpo de Ingenieros ha reconocido hasta siete tipos diferentes de humedales. Existen otras clasificaciones como la propuesta por Bravo y Windevoxhel (1997) y por Dugan (1992), las cuales son utilizadas con frecuencia para la región Neotropical. Esta

clasificación consiste en cinco sistemas basados en factores hidrológicos, geomorfológicos, químicos y biológicos, que comprenden una de las regiones biogeográficas más ricas y diversas del planeta.

De acuerdo a este sistema los humedales se clasifican como:

- Palustrinos, son cuerpos de agua interiores no marinos, generalmente delimitados por vegetación alta. Pueden estar rodeados por cualquiera de los otros tres sistemas. Incluye estanques, praderas naturales inundadas, sabanas de tipo pantanal y bosques inundados temporales. Su salinidad no supera de 0.5 partes por mil, y su profundidad en las depresiones no excede dos metros.

- Lacustrinos, son depósitos de agua formados en depresiones topográficas o drenaje represados natural o artificialmente. Puede tener vegetación como plantas emergentes, flotantes, musgos, líquenes. La salinidad puede alcanzar hasta 5 partes por mil. Incluye lagunas interiores y lagos cuya profundidad supere los dos metros.

- Riberinos, son canales o conductos abiertos, naturales y artificiales, con flujo de agua continuo. La salinidad debe ser menor a cinco partes por mil. Incluye ríos, arroyos y brazos muertos de ríos. Son ambientes costeros que tienen conexión con mar abierto.

- Estuarinos, se caracterizan por la dilución de agua marina con los aportes de agua dulce provenientes del continente y de las llanuras. La salinidad varía entre tres y 25 partes por mil. Incluye estuarios, deltas, lagunas costeras, esteros, manglares, zonas lodosas, islas e islotes (si están presentes en estuarios).

### **Distribución de Humedales**

A nivel mundial se estima que las áreas de humedales cubren el 10% de la superficie de la tierra (Figura1). De este porcentaje un dos% son lagos, un 30%

ciénagas, un 26% bosques anegados de palmas, un 20% son pantanos, un 15% son llanuras de inundación. Se estima que quedan todavía 24 millones de hectáreas de manglares y 60 millones de hectáreas con arrecifes de coral (Peck, 2002).

Tenemos humedales en la región Neotropical que incluye a México, América Central, el Caribe y Sudamérica. Estas áreas son básicamente húmedas y poseen grandes recursos de agua dulce en lagos y ríos, por las precipitaciones promedio de 60% que son mayores comparadas con el resto del mundo. Las extremas variaciones climáticas, latitud, geología y las diferentes fluctuaciones en las mareas, hacen que éstos sean considerados como parte de los humedales más productivos en el mundo (Tabilo-Valdivieso1997). Unos 1600 km de arrecifes de coral, y el ocho% de los manglares del mundo están localizados en esta zona (Windevoxhel, 1998).

Existen humedales de importancia internacional como el Golfo de Fonseca que lo comparten: El Salvador, Honduras y Nicaragua, el Golfo de Nicoya en Costa Rica (uno de los estuarios más productivos del mundo), la Bahía de Panamá, y en México donde existen importantes humedales costero-marinos en la zona de Baja California. En el Caribe con unas 3000 islas, cayos e islotes, tenemos ríos con llanuras de inundación y estuarios con manglares (Canevari, 1999).

La isla de Puerto Rico incluyendo a Vieques, Culebra e Isla de Mona cuenta con numerosos humedales por sus formaciones geológicas, topográficas y la gran precipitación que recibimos por nuestro clima subtropical. La mayoría de los humedales de Puerto Rico están localizados en tierras bajas cerca de las costas donde el agua de lluvia, ríos y quebradas ayudan a mantener estas zonas húmedas. En nuestras montañas también tenemos humedales. En el norte de Puerto Rico por la precipitación alta, los humedales palustrinos son más comunes. En el oeste y este de la isla, el agua subterránea está limitada a acuíferos y los humedales aluviales locales son los que

descargan al océano, por lo cual son estrechos y discontinuos a lo largo de estas costas (Adams & Hefner, 1999).

Los humedales palustrinos emergentes son más comunes al norte de Puerto Rico especialmente a lo largo de las costas como el humedal Cucharillas en Cataño. Este municipio cuenta con varias zonas de humedales específicamente en la ensenada de la Esperanza donde estos están localizados en porciones costeras que se extienden en aproximadamente 400 y 140 pies de longitud a 320 y 880 pies, respectivamente, del oeste de la desembocadura del Caño La Malaria. En esta misma zona, cruzando la Avenida las Nereidas existe un humedal con un área de 97,440 pies cuadrados.

Otra área de humedales se ubica en 900 pies de longitud justo al este de la desembocadura anteriormente mencionada. También existe un islote de 43,040 pies cuadrados de área que se encuentra cubierto en su totalidad por mangles y emajagüillas. A lo largo de la costa oeste de la isla de la Esperanza se extienden humedales en 1,640 pies de longitud. En la costa sur de Punta Cataño, hay un humedal con un área de 160 pies cuadrados con vegetaciones remanentes de: "*Avicenia germinans*" o mangle negro, "*Laguncularia racemosa*" o mangle blanco y "*Rhizophora mangle*" o mangle rojo. (Consortio de EBSJ, 2000).

Es de vital importancia la conservación de los humedales por sus funciones ecológicas y socio-económicas. Su valor es importante para el bienestar de la sociedad, los métodos para valorarlos deben ser mejorados para estimarlos.

### **Beneficios que nos brindan los humedales**

#### **Control de inundaciones**

Los humedales absorben y retienen el agua en época de mucha precipitación que ocasionan crecidas de ríos. Estos evitan las inundaciones de las comunidades aledañas y de hábitats de aguas más abajo porque liberan en forma gradual el exceso de agua. Estudios realizados en los Estados Unidos por la organización Ramsar

estimaron que 0.4 hectáreas de humedal son capaces de almacenar más de 6,000 metros cúbicos de agua en una crecida.

#### Calidad del agua

Cuando la velocidad de las aguas que pasan por los humedales disminuye se van depositando gradualmente los sedimentos suspendidos que provienen de tierras más altas. Estos sedimentos atrapan nutrientes y materiales que contaminan el agua transformándolos en sustancias menos tóxicas. Este proceso natural de filtración mejora la calidad del agua. A través de experiencias registradas en EU, Suecia y China, se observó que los humedales pueden contribuir significativamente al mejoramiento de la calidad del agua a través de la retención de sedimentos en áreas agrícolas (Verhoeven, Arheimer, Yin & Hefting 2006).

#### Recarga de acuíferos

El agua de los humedales desciende hacia los acuíferos subterráneos recargándolos y almacenando el agua que proviene de las inundaciones. Estos acuíferos proporcionan un abastecimiento de agua en lugares donde no existe un sistema de acueductos como en Suramérica y países africanos.

#### Áreas de crecimiento y reproducción de especies de valor ecológico y comercial

En los humedales se desarrollan especies desde etapas larvas hasta juveniles, constituyéndose en hábitats críticos de muchas especies silvestres. Los manglares de la costa pacífica, mantienen más de cien especies de peces que se crían en los humedales para luego pasar a las aguas costeras. También sirven como lugares de refugio y de alimentación para especies comerciales como: el camarón y moluscos. Se encuentran en los humedales productos valiosos para el desarrollo de medicinas. En Puerto Rico los humedales del área metropolitana de San Juan (Laguna La Torrecilla, Torrecilla Baja, Laguna de Piñones hasta Punta Vacía Talega) proveen un hábitat

excelente para la vida silvestre, mantienen criaderos de peces de alto valor económico y proveen recreación y oportunidades educativas a la población urbana.

#### Sitios de migración

Las aves utilizan durante sus migraciones a los humedales para descansar y alimentarse. Lo cual es relevante porque conectan a los humedales con otros del hemisferio norte y sur. Por ejemplo, las salinas de Cabo Rojo, en la costa suroeste, proveen áreas para el descanso y la alimentación de cientos de aves migratorias en ruta entre Norte y Suramérica. Antes del drenaje de los humedales costeros para propósitos agrícolas, pantanos de agua dulce como los de la Laguna Cartagena, Laguna Guánica y la Ciénaga El Anegado proveían hábitat a más de 1000 especies de aves residentes y migratorias.

#### Hábitat para especies amenazadas o en peligro de extinción

La conservación de los humedales es vital para las especies amenazadas o en peligro de extinción, estos albergan a estas especies de poblaciones reducidas como las del manatí que utiliza las lagunas de la costa del Caribe. Los humedales de las tierras altas del área central son el último refugio de la cotorra puertorriqueña, una especie en peligro de extinción. Treintiocho especies de vertebrados, moluscos y crustáceos, y 46 especies de aves, algunos raros o en peligro de extinción como la mariquita, el alcatraz, el pato dominicano, el pato silbón y la paloma cabeciblanca han sido observados en el área. También las playas asociadas con estos humedales urbanos proveen sitios de anidaje para las tortugas carey de concha y tinglar, ambas en peligro de extinción (Del Llano, Colón, & Chabert, 1986).

#### Banco genético

Para mejorar e inclusive producir variedad de nuevas especies con las especies silvestres que están asociadas a los humedales, para mejorar y aumentar su valor comercial.



### Fuente de productos naturales

En estos ecosistemas se producen productos animales y vegetales que son utilizados como fuente de ingreso por las comunidades costeras que están marginadas socialmente.

### Transporte

Los humedales son utilizados para la comunicación de poblaciones rurales con las regiones cercanas, los cuales establecen hasta rutas comerciales para vender los recursos que obtienen de los humedales.

### Recreación y turismo

La diversidad de flora y fauna en los humedales forma paisajes de alto valor turístico y de recreación. Por tal razón están protegidos como parques nacionales o bienes del Patrimonio Mundial y son capaces de generar ingresos aceptables. El turismo en humedales es una alternativa de desarrollo sostenible. La pesca recreativa en aguas dulces depende enteramente de humedales. En algunos países la pesca representa un componente importante de la economía nacional. En los EE.UU. se ha estimado que la mitad de las capturas en aguas marinas están asociadas también a humedales y puede generar ingresos apreciables. Alrededor de más de 45 millones de personas practican la pesca recreativa y gastan un total de 24.000 millones de dólares anuales en este pasatiempo.

### Remoción de metales

La capacidad de los humedales para eliminar los metales ha sido ampliamente investigada en los humedales naturales, en superficies construidas, en sistemas de flujo subterráneo y en los humedales a escala de laboratorio, los resultados indican que son sumideros de metales con diferentes tasas de extracción y la eficiencia (Murphy, Hawes & Cooper, 2009; Domingos, Dallas, Germain & Goen, 2009).

### Importancia histórico-cultural

Mencionaré algunos humedales donde se encuentran depósitos arqueológicos de suma importancia como parte de la historia de los países que se desarrollaron en los humedales aunque todavía existen indígenas como los 600 indios Maleku quienes aun tienen fuertes lazos con los humedales del norte de Costa Rica específicamente con el Caño Negro (Peck, 1998). Se encuentran documentados sitios arqueológicos en áreas de humedales en los manglares del pacífico asociados con las comunidades que las habitaban. Existe presencia de sitios arqueológicos (conchales) en Valparaíso, Chile que evidencian la presencia de antiguos pueblos cazadores y recolectores de mariscos que datan de hace 8.000 años. En la zona de los humedales del este en Uruguay, existen importantes sitios arqueológicos con una historia aproximada de cinco mil años. Las poblaciones prehistóricas que habitaron la cuenca de la Laguna Merín, se caracterizaron por la construcción de miles de peculiares monumentos conocidos como cerritos de indios

### Valor educativo

En todo el mundo hay centros y programas de educación sobre los humedales en cuyo marco el público en general y alumnos de escuelas primarias en particular participan en actividades prácticas en los humedales locales; las cuales trascienden las fronteras entre la educación y la recreación. Por ejemplo Waterwatch en Australia, es un programa de base comunitaria con 50.000 voluntarios divididos en 1.800 grupos de todo el país que vigilan la calidad del agua de los ríos locales. Ellos emplean equipo sencillo pero eficaz de monitoreo del agua permitiendo que el público en general y los alumnos de escuelas primarias pueden comprender mejor conceptos ambientales mediante actividades prácticas y al mismo tiempo pueden contribuir con la conservación de la cuenca hidrográfica local.

Se prevé que 350.000 visitantes acudan anualmente a un nuevo complejo de humedales de 40 hectáreas situado en el corazón de Londres. El complejo, creado a partir de una serie de embalses, comprende 30 lagos, pantanos, paseos construidos con tablas, observatorios y senderos, así como un centro de exposiciones en el que se educará al público respecto de las funciones y los valores de los ecosistemas de humedales, cuestiones concernientes a la biodiversidad y otros asuntos ambientales en un medio eminentemente recreativo (Convención de Humedales, 2000)

#### Sumideros de carbono

Los humedales, especialmente las turberas, son lugares donde se almacena el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), al ser asimilado por las plantas en el proceso de fotosíntesis. La fotosíntesis transforma el carbono inorgánico (CO<sub>2</sub> atmosférico) a carbono orgánico, en la forma de biomasa vegetal que queda almacenada en los humedales (Tabilo-Valdivieso, 2004). Las turberas y los humedales arbolados son particularmente importantes como sumideros de carbono. Si bien sólo cubren el 3% de la superficie terrestre del mundo, se estima que las turberas almacenan más del 25% de carbono de los suelos. La exportación de carbono orgánico desde los humedales a los ecosistemas acuáticos representa sumideros a nivel global (Lugo, 1982). Según el Dr. Lugo en Puerto Rico la especie *Pterocarpus officinalis* se taló para producir carbón lo cual provocó la extinción por la mortalidad masiva de esta especie.

#### **Humedales impactados en Puerto Rico**

La pérdida y degradación de humedales tiene consecuencias importantes y duraderas, sobre todo la pérdida de servicios de estos ecosistemas (Zedler & Kercher, 2005). La mayoría de los humedales en Puerto Rico han recibido diferentes perturbaciones causadas por el desarrollo urbano, alterando su funcionamiento. El Dr. Ariel Lugo, en el artículo: Lecciones Ecológicas de una Isla que lo ha visto todo, nos

reseña los efectos de las actividades antropogénicas en nuestros humedales, como: el manglar de Bahía Sucia, víctima de un derrame de petróleo hace 30 años. Inicialmente se observó una mortalidad masiva de árboles. Luego el manglar continuó creciendo, pero nunca ha llegado a los niveles estructurales y vigor del manglar previo al derrame de petróleo (Lugo, 2006).

La laguna de Guánica, originalmente la laguna costera más grande de Puerto Rico, se drenó por el gobierno para utilizarla como área de cultivo. Sin embargo, nunca se logró el drenaje total ni la exclusión de salinidad. La actividad agrícola se abandonó y la laguna se mantiene seca en espera de restauración lo cual puede ser factible de acuerdo al Dr. Ariel Lugo, si se restablece la hidrología inundando la región. El gobierno ha sido más cauteloso con la restauración que con la transformación inicial y como consecuencia la laguna continúa siendo un humedal herbáceo en una depresión propensa a inundaciones pero desconectado del mar (Lugo, 2006).

El Bosque de Melaleuca es un humedal arbóreo dominado por esta especie forastera que se estableció detrás de un manglar donde históricamente crecía el humedal arbóreo nativo de *Pterocarpus*. La actividad agrícola transformó el bosque de *Pterocarpus* a un pastizal de especies forasteras sometidas al fuego y drenaje. Con la urbanización del sitio, cambió la hidrología y el árbol de *Melaleuca* ha dominado la sucesión (Lugo, 2006).

El Caño Tiburones originalmente era el humedal de agua dulce más extenso de Puerto Rico, por beneficiarse con la descarga del acuífero del norte. Se trató de drenar con la construcción de canales desembocando en el mar. Luego se instalaron enormes bombas de agua para reducir el volumen de agua y permitir la actividad agrícola (cultivos y pastizales). Ocurrió intrusión salina lo cual favoreció la migración y

establecimiento de manglares cerca del mar. Eventualmente fracasó la actividad agrícola, cambiando también la composición de especies en el Caño.

A pesar del abandono de la actividad agrícola, continúa el bombeo de agua y se han estabilizado los niveles de agua para mantener áreas de humedal y pastizales. Los humedales contienen nuevas combinaciones de especies acuáticas y la región ha sido invadida por especies forasteras. Sin embargo, el humedal herbáceo (el más grande de su clase en Puerto Rico) continúa teniendo un alto valor para la vida silvestre y la actividad recreativa (Lugo, 2006).

### **Restauración y Creación de Humedales**

En respuesta a las pérdidas de superficie y a la importancia de los humedales en términos ecológicos y sociales, su restauración es una prioridad en muchos países (Streever, 1999; Lee, 2001). Como consecuencia, se están desarrollando una serie de actividades relacionadas con la creación de humedales. Los humedales se pueden: restaurar, rehabilitar, construir y mitigar. La meta de la restauración es lograr un humedal con la misma composición de especies y función que el original. En el caso de la rehabilitación, se crean condiciones adecuadas para que el humedal tenga funciones específicas; en cierto sentido se le puede considerar como una restauración parcial o incompleta. Se pueden crear humedales en sitios en donde históricamente no los había con distintos fines, dependiendo del proyecto.

La creación de humedales puede incluir desde hábitat para las especies en peligro de extinción hasta el tratamiento de aguas residuales o lixiviados tóxicos. La mitigación, pretende evitar, minimizar o compensar el daño a través de la restauración, la rehabilitación o la construcción de humedales, esta se lleva a cabo por un mandato legal conforme a la ley, según el Artículo 6 de la Ley Num.111, conocida como Ley de Protección y Conservación de Cuevas, Cavernas y Sumideros de Puerto Rico y el

Artículo 14 de la Ley Num.133, conocida como Ley de Bosques de Puerto Rico, así como la “Nueva Ley de Vida Silvestre.

### **Nutrientes en los humedales**

Las interacciones entre nutrientes, suelos e hidrología son importantes para los humedales y sus actividades bióticas en cada unidad de área terrestre y acuática. Los nutrientes entran al sistema por las escorrentías que provienen de las aguas superficiales que arrastran los suelos por las lluvias. Los humedales juegan un papel importante en la retención de nutrientes y en la transformación de éstos, influyen en la calidad del agua y como los nutrientes llegan al mar. (Morse, Megonigal & Walbrigde, 2004)

Existen tres grupos de elementos indispensables para la vida de las plantas: los macronutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, cuya proporción en la composición de la planta es del orden de 1-2%, 0.1-1% y 0.5-1% del peso seco de la biomasa respectivamente aunque, en determinadas plantas estos contenidos pueden ser muy superiores. Los micronutrientes como el azufre, calcio, magnesio, cuya proporción es menor de un 0.5% en las plantas forman el segundo grupo de elementos (Martinez, 2005) y un tercer grupo en proporciones muy pequeñas que se conoce como oligoelementos formados por el hierro, manganeso, cinc, cobre, boro, molibdeno, los cuales son imprescindibles para la vida de las plantas.

Además, hay otros elementos que forman parte en la fisiología de algunas especies vegetales, por ejemplo: cloro, silicio, cobalto También hay que mencionar que hay otros elementos que no siendo indispensables son acumulados por algunas plantas, aspecto que se aprovecha para la biorremediación, que consiste en la recuperación a través de procesos biológicos de áreas formadas por suelos y aguas

contaminadas puntualmente por actividades industriales (metales pesados, hidrocarburos).

El nitrógeno y el fósforo inorgánico son los nutrientes más importantes que son removidos, acumulados y transformados por procesos químicos en el humedal. En el caso del nitrógeno las bacterias nitrificantes fijan el nitrógeno atmosférico y lo convierten en sales de nitrógeno, nitritos o nitratos, que las plantas absorben del suelo a través de sus raíces (Hammer, 2009). El nitrato puede ser removido por el proceso desnitrificante de bacterias que se encuentran en los suelos pobres en oxígeno de los humedales, las cuáles convierten el nitrato y nitrito en moléculas de nitrógeno que son difundidas hacia la atmósfera. El nitrógeno es vital para la formación de proteínas, ácidos nucleicos, enzimas, coenzimas, formación de la clorofila. La falta de nitrógeno en las plantas puede causar insuficiencia en las moléculas de clorofila, y bajar el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Los fosfatos pueden ser encontrados como iones inorgánicos en los suelos minerales de algunos humedales. El fósforo es un elemento esencial para los seres vivos, ya que forma parte de la estructura de los ácidos nucleicos, y de las moléculas productoras de energía (ATP). Es un nutriente sólido que forma parte del suelo; se le encuentra en forma de fosfatos disueltos en agua, cuyo origen es la meteorización de las rocas de la corteza terrestre. El fósforo ayuda al desarrollo de buenas raíces, tallos y formación de granos y semillas. El potasio forma tallos fuertes y plantas resistentes a enfermedades y plagas.

La producción de materia orgánica, el establecimiento de la red alimentaria, el movimiento de carbono y energía, y reciclaje de los nutrientes son importantes para la funcionalidad de todos los ecosistemas. Los humedales poseen un número limitado de herbívoros, lo cual se une a los impactos humanos que disminuyen las entradas de

nutrientes al sistema. En estos ecosistemas los nutrientes están limitados, la disponibilidad continua de éstos depende a menudo de la descomposición del material orgánico (Álvarez & Guerrero, 2000). Especialmente en los humedales se consume poca de la producción primaria y los tejidos vegetativos vivos y muertos terminan formando el detrito en la cadena alimentaria (Ramírez, 2007).

### **Estudios de casos**

Aportes de hojas de *Schinopsis balansae* en un bosque nativo y en dos sistemas silvopastoriles del Parque Chaqueño Orienta en Argentina (Prause, Flores & Caram, 2004)

Según Prause, Flores & Caram (2004) en la región de Argentina, es necesario conocer y manejar los bosques nativos. El manejo debe incluir: el rejuvenecimiento del bosque, la recuperación de tierras que estén desprovistas de vegetación arbórea y cuya rentabilidad bajo ganadería resulta financieramente muy baja y ecológicamente inadecuada.

El efecto que la acumulación de los restos orgánicos en la superficie del suelo tiene, sobre la productividad del bosque ha inducido a muchos autores al estudio de los aportes y de la cinética de la descomposición de la hojarasca (Santa Regina, Gallardo Lancho, & San Miguel 1989; Prause, 1997; Palma, Prause, Fontanive & Jiménez 1998; Prause, Lifschitz, Dalurzo & Agudo, 2002). El posible papel de las especies forestales sobre la circulación de nutrientes en su ecosistema, depende de la cantidad de material reciclable y de su tasa de descomposición. Por ello es importante la identificación de las especies arbóreas nativas con influencia positiva sobre la restauración de la fertilidad del suelo, para utilizarlas en el diseño de plantaciones arbóreas mixtas y sistemas agroforestales (Montagnini, Fanzeres & Guimaraes Da Vinha, 1994).

Para lograr los objetivos del estudio, en una Estación Experimental Agropecuaria de Colonia Benítez, Provincia del Chaco, Argentina, ellos ubicaron árboles de



Quebracho Colorado Chaqueño (*Schinopsis balansae* Engl.) bajo tres tratamientos: a) monte nativo (MN); b) sistema silvopastoril (SSc), con eliminación del sotobosque con implantación de *Cynodon plectostachyus* Pilger; y c) sistema silvopastoril (SSp), con eliminación del sotobosque con pasturas nativas. Seleccionaron en cada uno de los tratamientos, siete árboles de la mencionada especie teniendo en cuenta portes similares y su buen estado. Recogieron hojas mensualmente por un año, en trampas circulares de 0,57 m de radio, equivalente a una superficie de 1 m<sup>2</sup>, con fondo de tela plástica de 2mm de abertura de malla. Estas se colocaron suspendidas a 0,50 m sobre el nivel del suelo y a razón de una trampa por árbol. La hojarasca total se secó en estufa a 70° C, anotándose sus pesos secos que se expresaron en kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

El tratamiento forestal que más hojas aportó en el año fue el (ssp) = sistema silvopastoril con eliminación del sotobosque con pasturas nativas con 1.633,10 (±16,36) kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Se detectó una marcada variabilidad en la abscisión de hojas de *Schinopsis balansae* en los dos tratamientos silvopastoriles, relacionada con los meses de sequías, en coincidencia con el período otoño-invernal del sitio en estudio.

Descomposición de hojarasca en la leguminosa *Adenocarpus decorticans*. Pérdida de peso y dinámica de los nutrientes (Moro & Domingo, 1996)

El objetivo de este trabajo consistió en el estudio de la dinámica de pérdida de peso y de nutrientes durante el proceso de descomposición de hojarasca en la leguminosa arbustiva *Adenocarpus decorticans*. Se justificó este estudio ya que en España, la mayoría de los estudios sobre descomposición de hojarasca en vegetación leñosa mediterránea fueron realizados en especies con hojas esclerófilas, caracterizadas por un alto contenido en componentes estructurales recalcitrantes y bajos niveles de nutrientes foliares. Investigaciones realizadas por los autores de este estudio indican que existe muy poca información sobre las leguminosas arbustivas.

Los resultados de la investigación:

1. La pérdida de peso inicial fue del 70%
2. La tasa de descomposición que se estimó en 0.82 el primer año, 0.62 el segundo año.
3. La liberación de nutrientes ocurrió en secuencia  $K > Mg > Ca > P > N$ . Todos estos elementos presentaron liberaciones netas al cabo de 1.5 años.

Concluyen Moro & Domingo (1996), que las diferentes combinaciones de atributos químicos y estructurales presentes en las leguminosas leñosas pueden conducir a patrones de descomposición alejados de la dinámica habitual que caracteriza a las especies esclerófilas. Los resultados obtenidos se correlacionaron con estudios realizados en especies esclerófilas.

Descomposición de la hojarasca fina en bosques pantanosos del pacífico colombiano. (Jorge Ignacio Del Valle Arango, Ingeniero Forestal, Universidad Nacional de Colombia, 2003).

El estudio se realizó en los humedales forestales tropicales (bosques pantanosos) del Pacífico sur colombiano, denominados localmente bosques de guandal. El clima es ecuatorial con precipitación anual de 3500mm. Para determinar las tasas de descomposición, el ingeniero Del Valle (2003), utilizó más de 100g de peso fresco por bandeja para un seguimiento del proceso de pérdida de peso, y seleccionó varias especies ya que entiende que al emplear pocas especies en bosques tropicales, los resultados no pueden compararse con los obtenidos por otras técnicas como el balance de masas (relación entre la hojarasca caída y la hojarasca *in situ*), por lo cual integró todas las especies y los componentes de la hojarasca en las bandejas en proporción de su abundancia.

Además sustenta en su exposición que la mayoría de los estudios de descomposición de hojarasca emplean hojarasca de una o pocas especies, hasta cinco

por sitio, y 10g o menos, aun dos g secadas en estufa o al aire, por cada bolsa de descomposición y exclusivamente de hojas (Cuevas & Medina, 1988; Álvarez-Sánchez & Becerra, 1996; Luisão, Proctor, Thompson, Luisão, Marrs, Scott & Viana, 1998). El empleo del tamaño de la malla también afecta los resultados (Anderson & Swift, 1983) las bandejas de malla gruesa (retículo, 10mm), como las que se emplearon en esta investigación, tienden a producir mayores pérdidas de peso que las de malla fina. Las mallas finas impiden el acceso de algunos invertebrados (Swift, Russel-Smith & Perfect, 1981; Anderson & Swift, 1983; Galizzi & Marchese, 2007). Por tanto, Del Valle justificó el uso de mallas gruesas para que los resultados reflejen mejor lo que ocurre en el bosque.

El investigador escogió dos parcelas en veredas de cuencas de dos ríos en Colombia. En el primer experimento colocó al azar sobre el suelo 10 bandejas de descomposición con malla de retículo de 1cm de lado. Las bandejas contenían 156,9g de hojarasca fina (hojas, flores y frutos). El experimento duró 371 días y cada mes se pesaron las bandejas in situ. El segundo experimento tuvo características similares. El peso inicial promedio de las bandejas de 106,0g y duró 288 días. Las tasas de descomposición anual de ambos experimentos fueron similares: 87,8% y 78,6%, respectivamente.

Las pérdidas anuales de peso de los dos experimentos, se encuentran en una posición intermedia en el contexto de las cifras publicadas para los bosques tropicales lluviosos de baja altitud cuando se usan bandejas de hojarasca de malla gruesa (Del Valle, 2003). Las cifras más altas se encuentran las de un bosque tropical de Nigeria cuya hojarasca perdió en peso anualmente entre 219 y 548%, y entre las más bajas un bosque tropical en Sarawak perdió en un año entre 52 y 61% de su peso de hojarasca fina inicial (Anderson & Swift, 1983). En los bosques periódicamente inundados de la

Amazonia esta variable oscila entre 39% y 95% (Imler & Furk, 1980; Cuevas & Medina, 1988).

### **Marco legal**

Por sus características y funciones naturales, los humedales son bienes de uso público, salvo los que formen parte de predios privados aunque pueden limitarse sus usos para conservarlos. Para proteger, conservar y restaurar a los humedales se han establecido y promulgado leyes y reglamentos a nivel estatal y federal. Estas leyes y reglamentos fiscalizan el uso, desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar la integridad y conservación del medio ambiente.

### **Leyes Estatales**

El Artículo VI, sección 19, de la Constitución de Puerto Rico, establece que será política pública del Estado Libre Asociado la más eficaz conservación de sus recursos naturales así como el mayor desarrollo y aprovechamiento de los mismos para el beneficio general de la comunidad. Nuestros humedales nos ofrecen beneficios y se deben utilizar de forma sostenible. El gobierno de Puerto Rico se comprometió a desarrollar de forma inteligente, en armonía con el ambiente.

- a. Ley 83 del 13 de mayo de 1936, según enmendada (Ley de Pesca)

Esta ley tiene como objetivo la conservación de la pesca. La consecución de esta ley requiere de la conservación de los manglares, ya que estos son parte fundamental del ciclo de vida de muchas especies de peces.

- b. Ley 23 del 20 de junio de 1972

Esta ley crea el DRNA y lo responsabiliza de la planificación y manejo de todos los recursos naturales.

- c. Ley 133 del 1 de junio de 1975 (Ley de Bosques)

Los manglares declarados como estatales quedan protegidos por esta ley. Además, la ley de bosques facultad al DRNA para adquirir terrenos con el fin de designarlos bosques y al Gobernador a proclamarlos los mismos.

d. Ley 144 del 3 de junio de 1976

Ley que facultad al Secretario del DRNA especialmente el artículo 5, inciso d-2, a no expedir permisos para excavar, extraer, remover o dragar componentes de la corteza terrestre cuando sea la actividad a desarrollarse en: área de pesca, recreativa, balneario, arrecifes de corales, reservas de recursos naturales o de vida silvestre. No se puede afectar la integridad de estos recursos naturales.

e. Ley Orgánica de la Junta de Planificación de Puerto rico, 24 de junio de 1975. Guiar el desarrollo integral de Puerto Rico de modo coordinado, adecuado, económico, el cual este de acuerdo con las actuales y futuras necesidades actuales, los recursos humanos, ambientales, físicos, económicos, hubiere de fomentar en la mejor forma; la salud, la seguridad, el orden, la convivencia, la prosperidad, la defensa de la cultura, la solidez económica y el bienestar social de los actuales y futuros habitantes y aquella eficiencia, económica y bienestar social en el proceso de desarrollo y, en la distribución de población, en el uso de las tierras y de otros recursos naturales y en las mejoras públicas que tienden a crear condiciones favorables para que la sociedad pueda desarrollarse integralmente.

f. Ley Núm. 81 del 30 de agosto de 1991 (Ley de Municipios Autónomos)

Esta ley otorga a los municipios autónomos la facultad de organizar su territorio, mediante la preparación de un plan de ordenación municipal, se clasifica el suelo urbano, urbanizable y rústico. Para proteger a los humedales se clasifican como parte del proceso de ordenación del territorio en suelo rústico especialmente protegido.

g. Ley 314 del 24 de diciembre de 1998

Establece la política pública sobre los humedales en Puerto Rico, la cual consiste en la protección de estos sistemas naturales, donde se promueve la preservación, conservación, restauración y el manejo de este valioso recurso.

h. Ley de Política Pública Ambiental (Ley Núm. 416 de 22 de septiembre de 2004). Esta ley deroga a varias leyes para darle a la Junta de Calidad Ambiental el poder de adoptar, promulgar, enmendar y derogar reglamentaciones para la protección del medio ambiente en Puerto Rico. Esta ley entró en vigor el 22 de marzo de 2005. Esta ley establece la importancia de practicar medidas que fomenten el bienestar del ambiente.

i. Ley Núm. 241 de 15 de agosto de 1999, "Nueva Ley de Vida Silvestre de Puerto Rico". El artículo 3 de esta ley, establece que es política pública del Gobierno de Puerto Rico la protección de la vida silvestre y en particular el hábitat de dichas especies. Las agencias públicas deberán consultar al Departamento de Recursos naturales y Ambientales (DRNA) sobre cualquier acción que pueda tener impactos significativos previsibles sobre la vida silvestre. Además, esta ley establece una prohibición de modificación de aquellos hábitats críticos esenciales de especies vulnerables o en peligro de extinción.

j. Ley 31 del 14 de enero de 2000.

Esta ley enmienda la "Ley Orgánica del DRNA", a fin de facultar a su Secretario a reglamentar la protección, manejo y conservación de los humedales de Puerto Rico.

k. Ley Núm. 183 el 27 de diciembre de 2001, "Ley de Servidumbre de Conservación de Puerto Rico".

Esta ley establece que es política pública del Estado Libre Asociado de Puerto Rico el propiciar la constitución de las servidumbres de conservación, a los fines de conservar las áreas de valor natural, cultural y agrícola.

I. Ley Núm. 150 de 4 de agosto de 1988, conocida como “Ley del Programa de Patrimonio Natural de Puerto Rico”

Esta ley tiene como meta dotar al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de un mecanismo que permita la adquisición de áreas de alto valor natural para protegerlas y conservarlas, para el uso y disfrute de las generaciones presentes y futuras. La adquisición de los terrenos a través del Programa de Patrimonio Natural de Puerto Rico se llevará a cabo utilizando estrategias variadas e innovadoras en estrecha coordinación entre el Gobierno del Estado Libre Asociado, el Gobierno Federal y organizaciones privadas locales y del exterior.

### **Reglamentos**

- a. Reglamento para regir especies vulnerables y en peligro de extinción en el Estado Libre Asociado de Puerto Rico. (DRNA, 1985)
- b. Reglamento para regir la Conservación y Manejo de la Vida Silvestre, Especies Exóticas y la Caza en el Estado Libre Asociado de Puerto Rico. (DRNA, 1986)
- c. Reglamento para regir extracción de materiales de la corteza terrestre. (DRNA, 1977)
- d. Reglamento para el Aprovechamiento, uso, conservación y administración de las aguas de Puerto Rico. (DRNA, 1984, según enmendado).
- e. Reglamento del cuerpo de Vigilantes de Recursos naturales (DRNA, 1978).
- f. Reglamento para el Aprovechamiento, Vigilancia, conservación y Administración de la Aguas territoriales, los terrenos sumergidos bajo estas y la zona marítima terrestre. (DRNA, 1992, según enmendado).

g. Compromiso para la protección de los humedales de Puerto Rico. (DRNA, JP y JCA).

h. Reglamento 4282, 28 de marzo de 2003, según enmendado, Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de la Junta de Calidad Ambiental. La meta de este reglamento es preservar, conservar y mejorar la calidad de las aguas de Puerto Rico, de manera que sean compatibles con las necesidades sociales y económicas del Estado Libre Asociado de Puerto Rico.

### **Leyes Federales**

a. Ley Federal de Agua Limpia (CWA, por sus siglas en inglés).

Clean Water Act, 33USC 1251 et se Fue establecida para proteger las aguas de contaminantes. Esta ley reglamenta la descarga de materiales en las aguas navegables de los Estados Unidos, por ejemplo, la descarga de relleno y el movimiento de terrenos, así como la instalación de pilotes en los humedales. También establece un sistema para la concesión de permisos a fin de asegurar que esas descargas cumplen con los requisitos de protección del medio ambiente. Están reglamentadas las descargas de material de relleno y dragado en cualquier cuerpo de agua o humedal, del tamaño que sea. Se pueden conceder permisos anticipados de carácter general o nacional, para llevar a cabo determinadas actividades menores en los humedales. El establecimiento de nuevos humedales, como compensación para mitigar los que se hubieran impactado es sólo es aceptable cuando la pérdida de los humedales haya sido tramitada a través de una solicitud de permiso y la misma resultase inevitable.

b. Coastal Zone Management Act of 1972; 16 U.S.C.A. §§ 1451 to 1465". Establece que es propósito del Congreso de los Estados Unidos de Norteamérica mejorar la efectividad de la Ley de Manejo de la Zona Costanera de 1972,



aumentando el entendimiento del ambiente costero y expandiendo los programas estatales de manejo de la zona costanera, para atender problemas ambientales costeros.

c. “Endangered Species Act de 1973; 16 U.S.C.A. §§ 1531 to 1541”

El propósito de esta ley es proveer un medio que proteja los ecosistemas donde existen especies amenazadas y en peligro de extinción. Para lograr esto, esta ley se hace extensiva a la protección de las áreas de anidaje o refugio de estas especies. Por lo que los humedales le sirven de hábitat a muchas especies protegidas por esta ley.

d. Emergency Wetlands Resources Act de 1986(PL-99-645)

El propósito de esta ley es la conservación de los terrenos anegadizos, manteniendo los beneficios públicos que estos proveen y para ayudar a cumplir con tratados y convenciones relacionadas a las aves migratorias.

e. Ley de Protección de mamíferos

Para lograr proteger a estas especies se hace necesario extenderla a sus habitáculos.

f. Food Security Act de 1986.

La práctica común de desecar los humedales para convertirlos en terrenos agrícolas pierde los incentivos para recibir subsidio federal agrícola.

g. Emergency Wetlands Resources Act de 1986.

Su propósito es de conservar los terrenos anegadizos manteniendo los beneficios públicos que estos proveen y para ayudar a cumplir con los tratados y convenciones relacionados con aves migratorias.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

Realizamos este estudio para conocer la tasa de degradación de materia orgánica y la aportación de nutrientes por las especies en el área mitigada en la Ciénaga Cucharillas de Cataño (Figura 2) para cumplir con nuestra meta y recomendar estrategias para el manejo y conservación con el propósito de restablecer el funcionamiento del ecosistema luego de ser impactada con diversas actividades antropogénicas y las mitigaciones realizadas por la Bacardí y la Flexitank.

#### **Área de estudio**

La ciénaga Las Cucharillas se encuentra ubicada entre la latitud 18°26'39 Norte y la longitud 66°8'27 Oeste con 1236 acres. Colinda por el norte con la carretera PR-165, por el sur con la comunidad Juana Matos, con el complejo de viviendas Coquí 1 y Coquí II por el este y por el oeste con la comunidad William Fuertes. El estudio se realizó en dos áreas mitigadas de esta Ciénaga. Una de estas mitigaciones las realizó la Bacardí, empresa que contrató los servicios de la compañía Ambienta Inc. Esta mitigación fue de un acre de terreno, la otra mitigación la realizó la Empresa Flexitank en un área de dos acres la cual realizó la compañía Reforesta La Tabla 1 muestra la localización de las especies en la Ciénaga Las Cucharillas en Cataño, Puerto Rico.

#### **Periodo del estudio**

La duración de este estudio fue de 64 días, con la selección de las tres especies en ambas mitigaciones y la colocación el 11 de septiembre de 2009 de las bolsas de descomposición. Finalizamos con la recolección de las bolsas el 23 de noviembre de 2009.

## **Evaluación de tasa de degradación de hojarasca de las especies arbóreas en el área de mitigada en la Ciénaga Cucharillas de Cataño.**

Seleccionamos tres especies arbóreas: *Thespesia populnea*, *Annona glabra*, *Pterocarpus officinalis*, en cada mitigación por recomendación del Doctor Musa, profesor de la Universidad Metropolitana Recinto de Cupey en colaboración del Sr. Carlos Morales. La Figura 3 muestra la localización de cada especie arbórea. Los árboles se seleccionaron luego de una inspección visual en ambas mitigaciones de acuerdo al terreno, tamaño y el número de hojas amarillas para cumplir con la cantidad de gramos que establecimos en la metodología. Recogimos 40 gramos (g) de hojas amarillas por especie en cada área mitigada, para un total de 240 g. De estos, colocamos 216 g en 108 bolsas de nylon de 10cm x 10 cm con poros de 1mm. Los 24 g restantes los utilizamos para calcular el porcentaje inicial de materia orgánica y de nutrientes.

Las bolsas de nylon con los 36 g de hojas amarillas las colocamos en ambas mitigaciones, asegurándolas a la base del tronco de cada especie a nivel del suelo con hilo nylon, para sujetarlas especialmente en las áreas inundadas. A los dos días recogimos tres bolsas por especie en cada mitigación de forma duplicada (2,4,8,16,64 días), utilizamos como modelo la investigación realizada por Prato Longo & Kandus en el 2005.

Calculamos la constante de descomposición de las hojas ( $k$ ) por especie en cada área mitigada, utilizamos el modelo exponencial de Olson (1963), según el estudio realizado por Palma (1998), Prause (2002), con la ecuación:  $\ln(X_0/X_1) = -kt$ , donde  $X_0$  es la masa inicial,  $X_1$  es la masa remanente en el tiempo  $t$ , y  $t$  es el tiempo del estudio. Al despejar para la constante de descomposición utilizamos la ecuación de Peterson & Cummins utilizada en el 2008 por Sampio, Rodríguez, Varandas, Cortes & Ferreira, con la ecuación:  $k = -(1/t) \ln(W_t/W_0)$ , con la masa inicial y las masas remanentes durante el  $t$

del estudio. Para calcular el porcentaje de masa remanente por especie en cada área mitigada se utilizó la fórmula  $\%MR = (M_{t1}/M_{t0}) * 100$ , siendo  $M_{t0}$  = masa en el tiempo cero, y  $M_{t1}$  = masa luego de un período dado (Prause, de Lifschitz, Dalurzo, & Vázquez, 2006). Los datos se compararon estadísticamente mediante las pruebas TStudent y el coeficiente de Perason para determinar las diferencias significativas entre las dos áreas mitigadas de la ciénaga.

### **Evaluación de nutrientes de la hojarasca por las especies en el área mitigada.**

El Instituto Agrológico de Dorado realizó los análisis de macronutrientes (fósforo, nitrógeno, potasio) y micronutrientes (calcio y magnesio) en hojas por especie en cada área mitigada. Para el inicio del estudio utilizamos 6 g de cada especie de ambas mitigaciones para calcular los nutrientes en hojas. La licenciada Carrasquillo, del Agrológico en Dorado, realizó los análisis de nutrientes de las hojas en las bolsas retiradas, de forma duplicada: dos, cuatro, ocho, 16, 32 hasta finalizar el estudio a los 64 días. Lavó las hojas con una solución de HCl (0.5) y detergente. Luego las enjuagó con agua destilada y las secó en estufa a 65 grados centígrados. La extracción del potasio, calcio y magnesio se realizó por el método de ceniza seca. El nitrógeno se determinó por el método Kjeldahl. El fósforo se determinó usando L-Absorbic Acid + Antimony Potassium Tartrate. Con estos datos de porcentajes de estos nutrientes remanentes se calculó la liberación de los nutrientes por la ecuación lineal que utilizamos en la tasa de descomposición de la hojarasca. Para comparar las dos áreas mitigadas utilizamos las pruebas TStudent con los datos de los porcentajes liberados de los elementos minerales y las tasas de liberación.

### **Determinación de nutrientes y parámetros en suelo.**

Seleccionamos el área para recoger las muestras de suelo en las dos mitigaciones donde están ubicadas las especies que utilizamos durante el estudio.

Removimos las hojas frescas y la hojarasca para marcar tres puntos y perforar con un barreno de acero inoxidable desinfectado con agua destilada y secado cada vez que tomamos las muestras. Los muestreos de suelos los realizamos a profundidades de 20 centímetros. En el Instituto Agrológico en Dorado se analizaron estas muestras al inicio y al final del estudio. Se determinó el pH con el suelo seco al aire. El fósforo se determinó por el método Olsen, Bray II. El potasio, calcio, magnesio se extrajeron con acetato de amonio y pH siete. El porcentaje de materia orgánica se determinó por peso por medio de una mufla a 360 grados.

**Recomendaciones para el manejo y conservación que aporten a la restauración del humedal.**

Al analizar los resultados obtenidos recomendamos prácticas de manejo y de conservación para que el ciclo biogeoquímico sea más productivo. Las estrategias de manejo fueron valorizadas según las condiciones del terreno, especies arbóreas sembradas y la precipitación del área.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **Introducción**

La producción primaria, la velocidad de descomposición, el movimiento de los elementos y compuestos químicos depende en gran manera de las condiciones: climatológicas, el contenido de nutrientes en la hojarasca y la biota que se relaciona con estos. Para un manejo de los recursos naturales se requiere investigaciones, monitoreo y eficiencia para desarrollar prácticas sostenibles en los humedales. Por tal razón en este capítulo presentamos el análisis de los resultados relacionados con la tasa de descomposición por hojas y la liberación de nutrientes a los suelos como parte del ciclo biogeoquímico por las especies que seleccionamos en las dos áreas mitigadas en la Ciénaga Las Cucharillas de Cataño. Los nutrientes en hojas se analizaron cuantitativamente desde el inicio y en forma duplicada: 2, 4, 8, 16, 32 y 64 días de poner las bolsas de descomposición. La evaluación del % MR y la  $k$  las calculamos desde el segundo día del estudio y cada vez que las bolsas se retiraban por medio de las ecuaciones antes mencionadas. Los nutrientes en el suelo donde estaban localizadas las especies los analizamos cuantitativamente para compararlos por área mitigada, al inicio y final del estudio.

#### **Comparación de los datos obtenidos sobre la tasa de descomposición.**

El índice de descomposición de la hojarasca, no depende sólo de los factores ambientales, como la temperatura y precipitación, sino también de las especies forestales (Palma, Prause, Fontanive & Jiménez 1998), de acuerdo a la metodología utilizada (Schulze & Walker, 1997) e inclusive por la estructura y la aeración del suelo

que se relacionan indirectamente con la tasa de descomposición al igual que la clase de descomponedores (Capello, Marchese & Escurra de Drago, 2004).

En esta investigación la tasa de descomposición resultó mediana para las tres especies de las dos áreas estudiadas lo cual está relacionado a las temperaturas altas registradas durante los meses de estudio con un promedio de 90 grados F (Tabla 2 y 3), humedad relativa promedio de 91.57%, y una precipitación promedio de 3.25 pulgadas. La temperatura es un factor determinante que controla las tasas de descomposición, su aumento en la rapidez se relaciona con el calentamiento global (Liu, Zang, Li, Ma & Li, 2005). La tasa de descomposición de las hojas fue proporcional a la pérdida de peso en ambas mitigaciones (Tablas 4 y 5). La tasa de descomposición ( $k$ ) durante los primeros días de la investigación fue rápida para las tres especies en ambas áreas, desde 0.62 a 0.20  $\text{g día}^{-1}$  durante los días dos y cuatro. Luego ésta decrece con el tiempo hasta estabilizarse en todas las especies, en ambas áreas, con  $k$  desde 0.05 a 0.02  $\text{día}^{-1}$  al finalizar el estudio (Tabla 5).

Estos resultados concuerdan con estudios similares en áreas de humedal los cuales concluyen que los compuestos solubles como: los azúcares, almidones y proteínas se consumen primero por los descomponedores (Berg, 2000; Schaladler & Brand, 2005; Rubinstein & Vasconcelos, 2005; Munguía, 2007) y la lignina, la celulosa y los polifenoles tardan más en degradarse, por ende la descomposición es más lenta. Las curvas de descomposición entre las especies de las dos áreas mitigadas muestran un modelo exponencial simple (Figura 4). Las curvas de descomposición por área (Figura 5 y 6) son similares con los estudios sobre descomposición de hojarasca en zonas de humedal (Del valle, 2003; Di Stefano, & Fournier, 2005; Munguia; 2007; Galizzi & Marchese, 2007).

La tasas de descomposición en área 1 ( $A_1$ ), a los dos días resultó más alta para la especie *Annona glabra* con 0.62  $\text{día}^{-1}$  seguida por *Thespesia populnea* con 0.47  $\text{día}^{-1}$  y

*Pterocarpus officinalis* con  $0.16 \text{ día}^{-1}$  (Figura 5). En el área 2 ( $A_2$ ), la secuencia de  $k$  fue: *Thespesia*  $0.49 \text{ día}^{-1}$  *Pterocarpus* con  $0.40 \text{ día}^{-1}$ , y *Annona* con  $0.3 \text{ día}^{-1}$  (Figura 6). La tasa de descomposición y porcentaje de masa liberada a los 64 días de descomposición resultó alta para *Annona* del área uno con  $0.59 \text{ día}^{-1}$  y masa liberada de 83%. En *Thespesia* de área dos con  $0.49$  masa liberada de 78%, estas dos especies aportaron materia orgánica mas rápidamente para la restauración de los suelos (Tabla 6). Al comprar la tasa de descomposición total por especie por área, realizando una prueba TSudent para una  $p < .05$ , demostró que no hay diferencias significativas entre las especies por área en: *P. officinalis*  $A_1$  y  $A_2$  (Figura 7), *T. populnea*  $A_1$  y  $A_2$  (Figura 8) y *A. glabra*  $A_1$  y  $A_2$  (Figura 9).

Al realizar la prueba estadística de Pearson para correlacionar la tasa de descomposición con el porcentaje de masa liberada esta resultó  $r = 1$ , lo que es indicativo de que existe una correlación positiva perfecta por especie en ambas áreas mitigadas.

### **Comparación de los datos obtenidos sobre nutrientes en hojas.**

Las concentraciones iniciales de N y K en hojarasca en  $A_1$  siguen el orden de *Pterocarpus* > *Thespesia* > *Annona*, mientras que en el  $A_2$  es de *Pterocarpus* > *Annona* > *Thespesia*. En Mg el orden en  $A_1$  es de: *Annona* > *Thespesia* > *Pterocarpus*, mientras que en el  $A_2$  las concentraciones son *Thespesia* > *Annona* > *Pterocarpus*. Para fósforo el orden resultó ser para  $A_1$ : *Annona* > *Thespesia* > *Pterocarpus*, mientras que en  $A_2$  fue *Thespesia* > *Annona* > *Pterocarpus*. En cuanto al Ca, las concentraciones iniciales en el  $A_1$  fueron *Annona* > *Thespesia* > *Pterocarpus*, y *Thespesia* > *Annona* > *Pterocarpus* en el  $A_2$ .



## Nitrógeno

El contenido de N en la biomasa de las plantas varía de uno hasta cinco por ciento (Fabrizzi, Moron & García, 2003). En el estudio las especies que utilizamos se encontraron dentro de estos parámetros (Figura 10) En las dos áreas los porcentos de nitrógeno obtenidos en la etapa inicial fluctuaron de 0.72% a 2.79%. El *Pterocarpus officinalis* al inicio del estudio resultó ser la especie con mayor contenido de nitrógeno, de acuerdo a la investigación de Medina, Cuevas y Lugo (2007) estas concentraciones altas de nitrógeno en esta especie se debe a la simbiosis que forma con las bacterias fijadoras de N<sub>2</sub>, mientras que solamente *Thespesia populnea* del A<sub>2</sub> resultó con menos de uno por ciento. Sin embargo, la tasa de descomposición a los 64 días fue extremadamente lenta para el *Pterocarpus* fluctuando entre 0.0002 a .0003 y *Annona* entre -0.0051 a -0.0319 en comparación con *Thespesia* donde *k* fue de 0.0035 a .0015 (Tabla 7).

Durante la investigación, los valores de nitrógeno aumentaban y disminuían por la acción de la flora bacteriana en el lugar del estudio desde el segundo día de retirar las bolsas. El porcentaje de nitrógeno liberado más alto lo obtuvo *Thespesia* del A<sub>1</sub> con un 20.23% y en A<sub>2</sub> fue *Pterocarpus* con un 1.79%. Tanto *Annona* del A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub>, *Pterocarpus* A<sub>1</sub>, *Thespesia* del A<sub>2</sub> aumentaron las concentraciones de nitrógeno (Tabla 8). Según estudios en zonas de humedal, estas variaciones en las concentraciones se debe a la dinámica que ocurre en las bolsas de descomposición, las cuales actúan como trampas para la materia orgánica particulada y la sedimentación (Prescott, 2005; Gallo, Sinsabaugh & Cabaniss, 2006; Coûteaux, Hervé & Beck, 2006).

Las concentraciones de nitrógeno en *Pterocarpus* fueron similares en dos áreas estudiadas en Puerto Rico: Sabana Grande y Punta Viento. Estos resultados son explicados por la simbiosis del *Pterocarpus* con las bacterias fijadoras de N<sub>2</sub>. (Medina,

Cuevas & Lugo, 2007). Se buscaron estudios de N en hojas para *Annona* y *Thespesia* pero hasta el momento no existen investigaciones relacionadas con estas especies.

### **Potasio**

El K se encuentra normalmente en un rango entre uno a cuatro por ciento en la materia seca (MS), pudiendo alcanzar más del ocho por ciento en algunos casos. Al inicio de la investigación la especie *Pterocarpus* de A<sub>1</sub>, cuantificó 1.10% de este nutriente, las demás especies obtuvieron valores inferiores al uno por ciento (Figura 11) por lo tanto existe una deficiencia de este nutriente en hoja. De acuerdo al estudio realizado por Medina, Cuevas & Lugo (2006) en el *Pterocarpus officinalis*, la concentración del K aumenta cuando existen concentraciones de sodio altas, la salinidad de la ciénaga en estudios anteriores fue de 0% (Arana, 2008) lo que justifica las concentraciones bajas de ese elemento en la investigación.

Al finalizar los 64 días la especie *P. officinalis* de A<sub>2</sub> produjo una tasa de descomposición para el K de 0.03, seguido por la de *Pterocarpus* de A<sub>1</sub> con 0.02. La tasa más lenta la produjo *A. glabra* del A<sub>1</sub> con 0.0042. (Tabla 7). *Pterocarpus* del A<sub>2</sub>, además tener la *k* más alta, fue la especie que liberó un porcentaje de 86.6 de K lo que resultó en una MR de 13.4% al finalizar el estudio. (Tabla 9). La liberación del K fue más rápida en las especies de las áreas mitigadas. Prause (2003) cita estudio donde la pérdida de K es atribuida porque no forma parte de ninguna estructura en la planta y siempre se encuentra como ión libre asociado a sales solubles y el cual puede ser removido por efecto de la precipitación.

### **Fósforo**

El fósforo se encuentra en condiciones normales en cantidades menores al uno por ciento (Barrera, Díaz, Durango & Ramos, 2008). Al inicio de la investigación todas las especies registraron concentraciones de este nutriente en porcentajes desde 0.81%

para *T. populnea* de A<sub>2</sub> hasta 0.11% para *T. populnea* de A<sub>1</sub> (Figura 12). A los 64 días el *P. officinalis* de A<sub>1</sub> liberó un 86.6%, seguido por un 81.5% de *Thespesia* del A<sub>2</sub> y un 41.7 % de *Pterocarpus* del A<sub>2</sub> (Tabla 10). La tasa de descomposición para este nutriente fue más rápida para la especie *A. glabra* de A<sub>1</sub> con 0.0313. La especie *T. populnea* de A<sub>1</sub> resultó con 0.000 de tasa de liberación por su concentración inicial de P con 0.11 al inicio y al finalizar los 64 días de la investigación (Tabla 7).

### **Calcio**

El contenido de calcio en las plantas varía entre el 0.1 y el 5 por ciento de su peso seco, dependiendo: de la especie, del órgano y de las condiciones de crecimiento (Monge, Val, Sanz, blanco & Montañés, 1994). La figura 13 muestra que todas las especies de la investigación al inicio cuantificaron porcentos de Ca en hojarasca entre los valores antes mencionados. El porcentaje de concentración inicial más alto de este nutriente fue de 4.29 % (*T. populnea* en A<sub>2</sub>), y el más bajo de 1.33% (*P. officinalis* en A<sub>1</sub>). El porcentaje de liberación de Ca en hojarasca durante los 64 días de descomposición resultó alto para la especie *A. glabra* de A<sub>1</sub>, con 91.85%. La especie que menos liberó Ca fue *P. officinalis* de A<sub>2</sub> con 18.80% quedando en la hojarasca 81.2%. El *P. officinalis* de A<sub>2</sub> a partir del cuarto día de descomposición fue aumentado el Ca para finalmente obtener mayor por ciento que el inicial (Tabla 11) Esto se debe, en gran medida, a la sedimentación atrapada en las bolsas de descomposición. La tasa de descomposición para Ca fue más rápida para *A. glabra* de A<sub>1</sub>, con 0.0392 y más lenta para *P. officinalis* de A<sub>2</sub>, con -0.0012 (Tabla 7).

## **Magnesio**

El contenido de Mg en tejido vegetal es de 0.3-0.5% del peso seco. La figura 14 muestra que no todas las especies al inicio de la investigación cuantificaron entre estas concentraciones. El porcentaje inicial en hojarasca al inicio del estudio entre las especies de A<sub>1</sub> resultó en el siguiente orden: *A. glabra* (0.65%), *T. populnea* (0.38%) y *P. officinalis* (0.28%). El porcentaje inicial para A<sub>2</sub> con: *T. populnea* (0.52%), *A. glabra* (0.51%) y *P. officinalis* (0.11%) (Figura 14). El porcentaje de liberación de Mg en hojarasca al finalizar el estudio resultó mayor para *A. glabra* (A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub>) con 41% y remanentes en hojarasca de 41%. La especie con liberación más lenta fue la *T. populnea* (A<sub>1</sub>) con 7.8% y MR de 92%. En los *P. officinalis* las concentraciones de Mg a los 64 días aumentaron con relación a las iniciales, lo cual no es representativo para tomar en consideración por la dinámica de acumulación de sedimentos en las bolsas de descomposición, explicación que hemos señalado anteriormente, por tal razón no se realizó el Tstudent (Tabla 12). La tasa de descomposición a los 64 días fue alta para *A. glabra* de A<sub>1</sub> con 0.0084 para el A<sub>2</sub> con 0.0083, comparamos *k* y no encontramos diferencias significativas. La especie *P. officinalis* de A<sub>2</sub> resultó más lenta con una tasa de -0.0115 (Tabla 7).

## **Comparación de los datos obtenidos en nutrientes, materia orgánica y pH en suelo.**

Una característica del suelo particularmente importante es la acidez, expresada como valor de pH en una escala comprendida entre 1 y 14. Los suelos ácidos tienen valores de pH inferior a 7, de 7 los neutros y superiores a 7 los alcalinos. Lo ideal es un suelo neutro, aunque casi todas las plantas toleran valores comprendidos entre 6.5 y 7.5. El pH del suelo donde están localizadas las especies se determinó cuantitativamente al inicio con valores de pH desde 5.95, el más ácido en *T. populnea*

de A<sub>2</sub>., este resultado es similar al estudio realizado por Arana (2007) en esta especie., El más alcalino en *A. glabra* de A<sub>2</sub> con 7.78 (Tabla 12). Al finalizar el estudio se repitió esta prueba y los valores de pH de todas las especies resultaron con suelos levemente alcalinos desde 7.48 a 8.36 en la especie *P. officinalis* de A<sub>2</sub> (Tabla 13). Al comparar los suelos del *P. officinalis* con los suelos de la investigación de Medina, Cuevas y Lugo (2007) en Sabana Seca y Punta del Viento en su mayoría estos suelos presentaron acidez, nuestros suelos registraron cantidades neutrales y alcalinas.

Los nutrientes K y P en suelo al inicio del estudio en A<sub>2</sub> resultaron con concentraciones mayores que las de A<sub>1</sub>. La más alta fue en el suelo de la especie *P. officinalis* (A<sub>2</sub>) con 19.54 partes por millón (ppm) y la más baja en *T. populnea* (A<sub>1</sub>). La concentración de K en suelo fue más alta para el suelo de *P. officinalis* (A<sub>2</sub>) y la más baja para el suelo de *A. glabra* (A<sub>1</sub>). Al finalizar el estudio estos valores en P y K disminuyeron en *P. officinalis* de A<sub>2</sub> a 10.12 ppm y en *T. populnea* A<sub>2</sub> con 13.9 ppm de diferencia. Autores como Lousier & Parkinson en 1978 concluyen que la pérdida de K y P está asociado con la pérdida de materia seca (Barrera, Frangi, Ferrando & Goya, 2004) En relación a Ca, en la especie *P. officinalis* de A<sub>2</sub> la concentración fue alta con 4,070 ppm y para el suelo de *T. populnea* fue la más baja con 1,689 ppm. El análisis de suelos a los 64 días mostró un aumento de Ca para *T. populnea* y *A. glabra* en ambas áreas. En *P. officinalis* estas concentraciones disminuyeron en relación con las iniciales.

En relación a las concentraciones de Mg inicial en suelo, la más alta fue de 517 ppm en *P. officinalis* de A<sub>2</sub> y la más baja para la misma especie de A<sub>1</sub>. Al finalizar el estudio las concentraciones de Mg en los suelos aumentaron en las dos especies *T. populneas* en ambas áreas mitigadas (Tabla 13). Los lugares muestreados presentaron al inicio del estudio porcentajes de materia orgánica (MO) desde 2.44 hasta 5.51 y al

finalizar desde 1.83 a 4.65 (Tabla 14). El suelo con mayor porcentaje de MO al inicio de este estudio resultó en los suelos de *P. officinalis* del A<sub>2</sub>, con 5.81%

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de evaluar la tasa de degradación, el aporte de nutrientes en las hojas, el porcentaje de la materia orgánica y nutrientes en los suelos hacemos conclusiones y recomendaciones para restaurar y reforestar el área de mitigación de la Ciénaga

#### **Conclusiones**

La tasa de degradación de la hojarasca de las especies en el área de mitigación en la Ciénaga las Cucharillas de Cataño resultó ser similar en ambas áreas estudiadas. Las especies forestales siguieron el orden de descomposición de: *A. glabra*>*T. populnea*>*P. officinalis*. De las tres especies seleccionadas la tasa de descomposición resultó alta para *A. glabra* de  $A_1$  con 0.62 durante los primeros días. Estudios anteriores justifican estos resultados e inclusive comparan las tasas entre épocas secas y lluviosas con resultados similares para los meses lluviosos y cálidos en los humedales.

Los suelos de la Ciénaga se caracterizaron por estar inundados durante la mayor parte de este estudio, lo cual Kononova en el 1982 relacionó con descomposiciones anaeróbicas lentas (Del Valle, 2003). Sin embargo, en este estudio las tasas de descomposición resultaron medianas al comparar con otros estudios en humedales. El índice de descomposición, además de ser dependiente de factores climáticos, es dependiente de los edáficos. Entre los factores climáticos, la precipitación fluctuó desde 3.32 a 4.31 pulgadas durante los meses de septiembre a noviembre, con temperaturas promedios de 90 grados Fahrenheit y 91 grados de humedad relativa. Entendemos que estos factores climáticos contribuyeron con tasa altas de descomposición para las tres especies. Estudio realizado por Aguilar en el 2002 en humedal en Nicaragua durante la época lluviosa en hojas de maleza en café de sombra resultaron con tasas de

descomposición altas hasta los 14 días. También Berg para el 2000 determinó que las tasas de descomposición son más rápidas en la época lluviosa que en la seca.

Factores edáficos en la composición y la estructura de la hoja varían en cada una de las especies seleccionadas, así como los nutrientes que se encuentran en ella. La tasa de descomposición se da bien rápido en los primeros días por la acción bioquímica entre los compuestos solubles como: los azúcares, almidones y proteínas que son consumidos primero por los descomponedores. En el 1974, Petersen y Cummins informaron que la mayoría de la materia orgánica soluble se puede filtrar desde las hojas a los suelos húmedos en las primeras 24 horas desde el inicio de la degradación (De La Horra, Efron, Palma & Prause, 2000)

Al relacional  $k$  con las pérdidas de peso en todas las especies encontramos una relación proporcional con descomposiciones altas los primeros días, luego decrecen hasta estabilizarse, lo cual es similar con estudios realizados en humedales en Argentina por Gantes. & Torremorell en el 2005. Sin embargo, al realizar un análisis estadístico concluimos que no existen diferencias significativas con las  $k$  entre especies de las dos áreas mitigadas en la Ciénaga.

En cuanto al aporte de nutrientes de las especies seleccionadas en ambas áreas mitigadas, encontramos que las especies resultaron con porcentajes promedios de concentración de nutrientes al inicio del estudio. La mayor tasa de liberación de nutrientes ocurrió durante los primeros ocho días, estos resultados fueron semejantes con estudios realizados por Aguilar en el 2000, en hojas de maleza en café de sombra realizado en la época lluviosa. El Potasio resultó ser el nutriente con más alta tasa de liberación ( $k \text{ día}^{-1}$ ) a los 64 días seguido por fósforo, magnesio y el calcio. La liberación rápida del potasio, es explicada en estudios en Argentina por Goya, Frangi, Pérez, & Dalla, para el 2008 donde se indica que el K en forma de iones libres, lo cual permite una liberación más rápida.



El nitrógeno resultó ser el nutriente con menor tasa de liberación a los 64 días en ambas áreas. Esto se debe a la acción de la flora bacteriana en el lugar del estudio y a la dinámica que ocurre en las bolsas de descomposición, las cuales actúan como trampas para la materia orgánica particulada y la sedimentación (Barrera et al, 2004). En la Figura 15 correlacionamos los nutrientes por especies de acuerdo a la tasa de descomposición de estos al finalizar los 64, por la cantidad de porcentaje de masa liberada de 83% y la  $k$  de cada nutriente encontramos que la especie *Annona glabra* del área uno es la especie que aporta más nutrientes a los suelos.

Los suelos en las dos áreas mitigadas de la Ciénaga presentan homogeneidad en los nutrientes y el porcentaje de materia orgánica. Esta homogeneidad en los suelos se debe a los patrones de siembra utilizados en ambas mitigaciones. Observamos que en los suelos hay patrones al sembrar especies como la *Annona* con la *Thespesia* que fueron sembradas en áreas relativamente cercanas, mientras que *Pterocarpus* estaba a distancias mayores de las demás especies. Por tal razón, la materia orgánica que nutre el suelo de las especies seleccionadas es similar para ambas mitigaciones.

### **Recomendaciones**

Para el manejo del área mitigada:

1. Sembrar en asociación a *Pterocarpus officinalis* con *Annona glabra* por los resultados que obtuvimos en relación a la especie con mayor tasa de descomposición y una aporte de nutrientes al suelo, esto permitirá que especies como el *Pterocarpus* se puedan desarrollarse mejor.
2. Desarrollar un mejor arreglo espacial en la siembra de las especies seleccionadas según la inclinación, elevación y drenaje del suelo, para que la hojarasca pueda permanecer en los suelos, y de esta forma mantener los nutrientes liberados en esa zona..

3. Planificación y reglamentación de las actividades para el uso en la Ciénaga Las Cucharillas en un marco de co-manejo institucionalizado entre la UMET y los residentes de Cataño.
4. Dentro de las actividades permitidas en la Ciénaga para incrementar el conocimiento científico de los estudiantes graduados, recomendando la creación de un curso previo a la tesis para que puedan desarrollar investigaciones, usar instrumentos de medición y hacer mapas.
5. Sembrar especies leguminosas en el área seca y algas en el área inundada para un aporte mayor de nutrientes.
6. Establecer mecanismos naturales o mecánicos que no permitan que las aguas de escorrentías inunden los suelos.
7. Establecer monitoreo luego de eventos de lluvia fuerte para determinar si es necesario la aplicación de fertilizantes.

Para futuras investigaciones:

1. Se recomienda realizar este estudio desde la época seca hasta la más lluviosa para comparar los parámetros de precipitación vs. humedad para determinar si hay fluctuaciones en la tasa de descomposición, y si existe una relación positiva entre ambos parámetros.
2. Seleccionar más cantidad de gramos de hojarasca para realizar los análisis de materia orgánica y poder relacionar el carbono con el nitrógeno.
3. Realizar estudios comparando la producción de biomasa con la descomposición y aportación de nutrientes en suelo y agua.
4. Estudiar la flora microbiana asociada con la descomposición de estas especies seleccionadas.
5. Realizar el estudio mezclando la hojarasca de las especies y comparar con hojarasca por especie.

6. Monitorear los nutrientes en hojas, suelos y agua.
7. Realizar estudio con diferentes aberturas en las bolsas de descomposición y comparar los resultados con la técnica de bandejas de descomposición.

### **Limitaciones**

1. La sedimentación de algunas bolsas generó data no confiable en algunos resultados
2. Desarrollar el experimento en un semestre con análisis de datos en un lapso corto hizo imposible comparar diferentes épocas estacionales.
3. Realizar nitrógeno en suelos y materia orgánica en hojas no fue posible en el Laboratorio Agrologico de Dorado. Estas pruebas son costosas para la cantidad de bolsas de descomposición que usamos en este estudio.

En este trabajo entendimos la necesidad de manejar adecuadamente a la Ciénaga Las Cucharillas para garantizar la conservación de la flora, la fauna y el desarrollo sostenible de los recursos naturales. La restauración es una actividad complementaria a la conservación para manejar la degradación, al estudiar los suelos y las especies sembradas en el área mitigada hemos avanzado en el conocimiento científico de la cinética de la descomposición y el aporte de nutrientes en relación a la cantidad y calidad de nuestras especies arbóreas.

## LITERATURA CITADA

- Adams, B.D., & Hefner, J.M. (1999). Puerto Rico, Humedales: *U.S. Geological Survey Water*. Supply Paper 2425,6 pp
- Aguilar, V. (2002). Análisis de datos provenientes de ensayos de descomposición y mineralización de residuos vegetales. *La Calera* (3) pp 50-54
- Aké-Castillo, J.A., Vázquez, G., & López, J. (2006). Litterfall and descomposition of *Rhizophora* mangle in a coastal lagoon in the southern Gulf of Mexico. *Hydrobiología* 559: 101-111
- Álvarez, J., & Becerra, R. (1996). Leaf decomposition in a Mexican tropical rainforest. *Biotrópica* 28: 657-667.
- Anderson, J.M., & Swift, M.J. (1983). Decomposition in tropical forests. En Sutton SL, Whitmore TC, Chadwick AC (Eds.) *Tropical Rain Forest: Ecology and Management*. Blackwell. Oxford, U.K. pp. 287-326.
- Arana, B. (2008). Análisis de la productividad y estructura forestal en el área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas. Tesis: Escuela de Asuntos Ambientales Universidad Metropolitana. pp10.
- Barrera, J.L., Díaz, B., Durango, P., & Ramos, A. (2008). Efectos de la época de lluvia y sequía sobre la absorción de potasio y fósforo en plantaciones de plátano. *Acta Agronómica. Palmira* 57(1) pp 57-59.
- Barrera, M.D., Frangui, J.L., Ferrando, J.J. & Goya, J.F. (2004). Descomposición del Mantillo y liberación foliar neta de nutrientes de *Astrocedrus chilensis* en el Blosón, Río Negro. *Ecología Austral* 14. xxx-xxx. Asociación Argentina
- Berg, B. (2000). Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *Forest ecology and management* 133: 13-22.
- Departamento de Recursos Naturales (2006). *Boletín Proyectos de Humedales*, vol. 2 Núm.1
- Callaway, J.C. & Zedler, J.B. (2004). Restoration of urban salt marshes: lessons from southern California. *Urban Ecosystems* 7: 133-150.
- Canevari, P. (1999). Principales sistemas de humedales de la región neotropical, y amenazas contra ellos: Una visión General. *Guía Ramsar para la conservación y uso racional de los humedales de la región neotropical* pag 3-7
- Capello, S., Marchese, M., & Ecurra de Drago, I. (2004). Descomposición y colonización por invertebrados de hojas de *Salix humboldtiana* en la llanura aluvial del río Paraná Medio: *Amazoniana* XVIII (1/2): 125-143.

- Carrera, C.J. & Lugo, A. (1978). Los Sistemas de Mangles de Puerto Rico. *Programa de la Zona Costanera, Departamento de Recursos Naturales y Ambientales* pag. 102.
- Central and Southern Florida Project (1999). Comprehensive review study, final integrated feasibility report and programmatic environmental impact statement. *Ecological Applications* 12: 456-473.
- Consortio del Estuario de la Bahía de San Juan. (2000). *Plan de manejo y conservación del estuario de la bahía de San Juan* 2: 2-4
- Convención sobre los Humedales. (2000). *Notas informativas sobre los valores y las funciones de los humedales*. Hoja informativa #8.
- Coûteaux, M., Hervé, D., & Beck, S. (2006). Decomposition of plant litter and roots in a long fallow system (Bolivian Altiplano). *Ecología en Bolivia* Vol. 41(3): 85-102
- Cowardin, L.M., Carter, V., Golet, F.C. & LaRoe, E.T. (1979). Classification of wetlands and deepwater habitats of the united states. U.S. Department of Interior. Fish and Wildlife Service. *Office of Biological Services, Washington, D.C.* 83 pp.
- Cuevas E., & Medina, E. (1998). The role of nutrients cycling in the conservation of soil fertility in tropical forested ecosystems. *Ecology today: an anthology of contemporary ecological research: International Scientific Publications. New Delhi, India.* pp. 263-278.
- Cuevas, E., & Medina, E. (1988). Nutrient dynamics within Amazonian forest II. Fine root growth, nutrient availability and leaf litter decomposition. *Oecologia* 76: 222-235.
- Chapin F.S., Vitousek P.M., & Van Cleve K. (1986). The nature of nutrient limitation in plant communities. *Am. Nat.* 127 (1): 48–58.
- De La Horra, A.M., Efron, D., Palma, R.M., & Prause, J. (2000). Liberación y dinámica de calcio, potasio, magnesio y sodio proveniente de la descomposición de hojarasca en un bosque subtropical argentino. *Agroquímica*. VXLIV (3-4):107-114.
- Domingos, S., Dallas, S., Germain, M., & Goen, H. (2009). Heavy metals in a constructed wetland treating industrial wastewater: distribution in the sediment and rhizome tissue. *Water Science & Technology*, 60(6), 1425-1432. doi:10.2166/wst.2009.472.
- Del Llano, M., Colon, J.A., & Chabert, J.L. (1986). A Directory of Neotropical Wetlands, en Scott, D.A., and Carbonell, M., (compilers): Cambridge, U.K., International Union for Conservation of Nature and Natural Resources and Slimbridge, U.K., *International Waterfowl Research Bureau*, p.559-571
- Del Valle, J.I. (2003). Descomposición de la hojarasca fina en bosques pantanosos del pacífico colombiano. Proyecto Biopacífico-Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín), Santafé de Bogotá. *Interciencia* 28(3) pp. 19-56.

- DiTommaso A., & Aarssen L.W. (1989). Resource manipulations in natural vegetation: a review. *Vegetation* 84: 9–29.
- Dugan, P. (1992). Conservación de humedales. Un análisis de temas de actualidad y acciones necesarias. *Universal Concepts, Gland, Suiza* 100pp.
- Dustan, M.F. (2001). Protection and management of Auduban Santuaries, with special references to wetland. *Ecotrópicos* pp 285.
- De La Horra, A.M., Efron, D., Palma, R.M. & Prause, J. (2000). Liberación y dinámica de calcio, potasio, magnesio y sodio proveniente de la descomposición de hojarasca en un bosque subtropical argentino. *Agroquímica*. VXLIV (3-4):107-114.
- Fabrizzi, K.P., Moron, A., & García, F.O. (2003). Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:1831-1841.
- Faulkner S. (2004). Urbanization impacts on the structure and function of forested wetlands. *Urban Ecosys.* 7, 89–106.
- Galizzi, M., & Marchese, M. (2007). Descomposición de hojas de *Tesarría intergrifolia* y colonización por invertebrados en un cauce secundario del Río Paraná. *Interciencia* vol. 32, número 008 pp 535-540.
- Gallo, M., Sinsabaugh, R., & Cabaniss, S. (2006). The role of ultraviolet radiation in litter decomposition in arid ecosystems. *Appl. Soil ecology.* 34: 82-91
- Geetha, R., Chandramohanakumar, N., & Mathews, L. (2006). Seasonal and tidal impact on the organic compounds and nutrients distribution in tropical mangroves, Kerala, India. *Chemistry & Ecology*, 22(1), 29-45.
- Goya, J.F., Frangi, J.L., Pérez, C. & Dalla Tea, F. (2008). Decomposition and nutrient release from leaf litter in *Eucalyptus grandis* plantations on three different soils in Entre Ríos, Argentina *Bosques* 29(3): 217-226 doi: 10.4067/S0717-92002008000300005
- Hammer, D. A. (2009). Constructed wetlands for wastewater treatment, municipal, industrial and agricultural, recuperado de: <http://books.google.pl/>
- Irmiler, U., & Furk, K. (1980). Weight, energy and nutrient change during decomposition of leaves in the emersion phase of Central Amazonian inundation forest. *Pedobiología* 20: 118-130.
- Jaimenez, R., & Franco N. (2006). Aportes de macronutrientes y descomposición de la materia orgánica en agroecosistemas de cacao. *Ecosistemas* 10(2) pag 103. Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales.
- Julca, A., Meneses, L., Blas, R., & Bello, S. (2006). La Materia orgánica, su importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *Biotrópicos* Vol.24 pp. 46-61.

- Junta de Calidad Ambiental (2005). Plan de ordenación territorial municipio de Cataño. San Juan, Puerto Rico.
- Kushlan, A.J. (2004). Impact of water management on wildlife in the Florida Everglades *Tropical Ecology* pp 231.
- Kusler, J., Mitch, W., & Larson, J. (1994). Humedales: *Investigación y Ciencia* 210 pp 6-13.
- Lee, K.N. (2001). Sustainability, Concept and practice of. *Encyclopedia of biodiversity* vol. 5: 533-567.
- Liu, S. L. , Bi, H., Zang, H. Y., Li, Z.A., Ma, W. H., & Li N. Y. (2005). Descomposition of leaf litter in tropical and subtropical forest of southern China. *Journal of Tropical Forest Science* 17(4): 543--556
- Lopez, J. (2009). The environmental history of human-induced impacts to the lake Pontchartrain Basin in southeastern Louisiana since european settlement--1718 to 2002. *Journal of Coastal Research*, (S1), 1-11. doi:10.2112/S154-021.1.
- Lugo, A. (2006). Lecciones ecológicas de una isla que lo ha visto todo. *Ecotrópicos* 19(2): 57-71. Sociedad Venezolana de Ecología.
- Luisão, F.J., Proctor, J., Thompson, J., Luisão, R.C.C., Marrs, R.H., Scott, D.A., & Viana, V. (1998). Rain forest on Maracá Island, Roraima, Brazil: soil and litter process response to artificial gaps. *Forest Ecology Management*. 102: 291-303.
- Martinez, J.L. (2005). Nitrogen and phosphorus in a neotropical rain forest of nutrient-rich soil. *Rev. boil.trop.* vol. 53, no. 3-4 pp 353-359. ISSN 0034-7744.
- Medina, E., Cuevas, E., & Lugo, A., (2007). Nutrient and salt relations of *Pterocarpus officinalis* in coastal wetlands of the Caribbean: assessment through leaf and soil analyses. *Trees*. doi 10.1007/s00468-007-0125-3.
- Monge, E., Val, J., Sanz, M., Blanco, A. & Montañez, L. (1994). El calcio nutriente para las plantas. Bitter pit en manzano. *Anal. Estac. Exp. Aula* 21(3): 189-201.
- Montagnini, F., Fanzeres, A. & Guimaraes Da Vinha, S. (1994). Estudios de restauración en la región del bosque atlántico de bahía, Brasil. *Yvyraretá, Misiones*. Año 5, Nº 5:9-23
- Moorhead, D.L., Sinsabaugh, R.L., Linkins, A.E., & Reynolds, J.F. (1996). Decomposition processs modelling approaches and applications. *The Science of Total Environment* 183: 137-149.
- Morse J., Megonigal J.P., & Walbridge, M.R. (2004). Sediment nutrient accumulation and nutrient availability in two tidal freshwater marshes along the Mattaponi River, Virginia, USA. *Biogeochemistry* (69), 175-206.

- Morzaria, H., Callaway, J., Sullivan, G., & Zedler, J. (2004). Relationship between topographic heterogeneity and vegetation patterns in California salt marsh. *Journal of Vegetation Science*, 15 (4), 523-530.
- Munguia, R. (2007). Tasas de descomposición de la hojarasca en un sistema agroforestal con café en el pacifico de Nicaragua. *La Calera*. Edición 8. Universidad Nacional Agraria.
- Murphy, C., Hawes, P., & Cooper, D. (2009). The application of wetland technology for copper removal from distillery wastewater: a case study. *Water Science & Technology*, 60(12), 2759-2766. doi:10.2166/wst.2009.729.
- Palma, R.M., Prause, J., Fontanive, A.V., & Jiménez, M.P. (1998). Litter fall and litter decomposition in a forest of the Parque Chaqueño Argentino. *Forest Ecology and Management* 106: 205-210.
- Peck, D. (1998). Conferencia internacional: El agua y el desarrollo sostenible realizada en Paris, 19-20-12 de marzo de 1998. Oficina de la Convención de Humedales (Ramsar). *El Papel de los Humedales en la búsqueda de soluciones a la crisis mundial del agua* pag. 2
- Peterson, R. C., & Cummins, K. W., (1974). Leaf processing in a woodland stream. *Freshwat. Biol.*, 4: 343-368.
- Prause, J. (1997). Aporte de las principales especies forestales a la dinámica de la materia orgánica y de los nutrientes en un monte nativo del Parque Chaqueño Húmedo. *Tesis de M. Sc. Buenos Aires, Argentina*. 205p.
- Prause, J., Lifschitz, A.P., Dalurzo, H.C., & Agudo, D. E. (2002). Leaf litterfall and decomposition in a Forest of the Chaco Argentino. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 33: 19&20.
- Prause, J., Flores, W.F., & Caram, G. A. (2004). Aportes de hojas de *Schinopsis balansae* en un bosque nativo y en dos sistemas silvopastoriles del parque chaqueño *Orienta en Argentina*. pp 1-4.
- Prause, J., de Lifschitz, A., Dalurzo H., & Vázquez, S. (2006). Aporte y descomposición de hojas de quebracho colorado chaqueño (*Schinopsis balansae* Engl.) y algarrobo negro (*Prosopis nigra* [Griseb.] Hieron.) del Parque Chaqueño Húmedo Argentino. *Corrientes Argentina* 25: 126-139.
- Pratolongo, P., & Kandus, P. (2005). Dinámica de la biomasa aérea en Pajonales de *Scirpus giganteus* y *Schoenoplectus californicus* en la zona frontal del bajo del Río Paraná en Argentina. Sociedad Venezolana de Ecología. *Ecotrópicos* 18(1):30-37
- Prescott, C. (2005). Do rates of litter decomposition tell us anything with really need to know? *Forest ecology manage* 220: 66-74
- Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. (2001). Plan integral de manejo y conservación para el Estuario de la Bahía de San Juan. San Juan, Puerto Rico



- Ramirez, J.Z. (2007). Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos andinos de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Interciencia* 303-311.
- Rubinstein, A., & Vasconcelos, H.L. (2005). Leaf-litter decomposition in Amazonian forest fragments. *Journal of Tropical Ecology* 21:6:699-702 Cambridge University Press doi: 10.1017/S0266467405002762
- Sampaio, A., Rodríguez-González, P., Varandas, S., Cortes, R.M., & Ferreira, M.T. (2008). Leaf litter decomposition in western Iberian forested wetlands: lentic versus lotic response. *Limnetica*, 27 (1): 93-106. Asociación Ibérica de Limnología, Madrid. Spain. ISSN: 0213-8409.
- Sanches, M., Prieto, D., Peral, F., Tamburi, C., Caseri, R., & Berazaín, R. (2003). Producción de hojarasca en un bosque semidecíduo estacional en São Pedro, Potirendaba, estado de São Paulo, Brasil. *Revista del Jardín Botánico Nacional* 24(1-2): 173-176.
- Sánchez, S., Crespo, G., Hernández, M., & García, Y. (2008). Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* y en un sistema silvopastoril asociado con *Leucaena leucocephala*. *Zootecnia Trop.* vol.26, no.3, p.269-273. ISSN 0798-7269
- Santa Regina, I., Gallardo, J.F., & San Miguel, C. (1989). Ciclos biogeoquímicos en bosques de la Sierra de Béjar (Salamanca, España). Retorno potencial de bioelementos por medio de la hojarasca. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 26:155-170.
- Sinsabaugh, R.L., Carreiro, M.M., & Alvarez, S. (2002). Enzyme and microbial dynamics of litter decomposition. *Enzymes in the environment New York*. pp 249-266.
- Sinsabaugh, R.L., & Moorhead, D.L. (1997). Synthesis of litter quality and enzyme approaches to decomposition modelling. *Plant litter quality and decomposition*.pp 89-112
- Streever, W. (1999). An international perspective on wetland rehabilitation. *Kluwer Academic Publishers* 12 (2) 68-79.
- Schaladder, M., & Brand, R. (2005). The invertebrate decomposers affect the disappearance rate litter mixtures. *Soil biology and biochemistry* 37(2): 329-337.
- Schulze, D. & Walker K., (1997). Riparian eucalyptus and willows and their significance for aquatic invertebrates in their River Murray, South Australia-Regul. Rivers: *Res. Mgmt.* 13: 557-577.
- Swift, M.J., Russel-Smith, A., & Perfect, T.J. (1981). Decomposition and mineral nutrient dynamics of plant litter in a regenerating bush-fallow in the sub-humid tropics. *J. Ecology* 69: 981-995.
- Tabilo-Valdivieso, E. (1999). Plan de Manejo de los Humedales de Uchusuma. Jachajawira. International Course on Wetland Management. Lelystad, Holland.

Wetland Advisory and Training Center, the Institute for Inland. *Water Management and Waste* pag. 6

- Tabilo-Valdivieso, E. (2004). El beneficio de los humedales en la región neotropical. Centro Neotropical de entrenamiento en humedales. *La Serena*, Chile. 73 pp.
- Vargas, M. (2004). Análisis retrospectivo de los humedales del Delta del Río Colorado por medio de sensores remotos y su relación con el flujo a través de la frontera México- Estados Unidos. Universidad Autónoma Baja California. *Ecología* 8: 35-56.
- Verhoeven, J, Arheimer, B., Yin, C., & Hefting, M. (2006). Regional and global concerns over wetlands and water quality. *Trends in Ecology and Evolution* 21: 96 – 103.
- Waksman, S.A., & Tenney, F.G. (1928). Composition of natural organic materials and their decomposition in the soil: III. The influence of nature of plant upon the rapidity of its decomposition. *Soil Science* 26:155-171.
- Windovoxhel, N., Rodríguez, J., & Lahmann, E. (1998). Situación del manejo integrado en Zonas Costeras de América Central; experiencias del Programa de Conservación de Humedales y Zonas Costeras de la UICN para la Región. *Serie Técnica Documento de Trabajo* 3: 31 pp.
- Zedler, J., & Kercher, S. (2005). Wetland resources: status, trends, ecosystem services . restorability. *Annu. Rev. Environment Resource* 30:39–74 doi: 10.1146

## TABLAS

Tabla 1

*Ubicación geográfica de las especies en área de estudio*

	Especie	Mitigación	Ubicación
P1	<i>Pterocarpus officinalis</i>	Bacardí	18° 26.630' N / 66° 09.386' O
A1	<i>Annona glabra</i>	Bacardí	18° 26.623' N / 66° 09.379' O
T1	<i>Thespesia populnea</i>	Bacardí	18° 26.623' N / 66° 09.385' O
P2	<i>Pterocarpus officinalis</i>	Flexitank	18° 26.559' N / 66° 09.379' O
A2	<i>Annona glabra</i>	Flexitank	18° 26.562' N / 66° 09.377' O
T1	<i>Thespesia populnea</i>	Flexitank	18° 26.602' N / 66° 09.383' O

Tabla 2

*Datos de precipitación y temperatura promedio 2009. Estación de palo seco, Cataño, P.R.*

Mes	Precipitación (pulg)	Temperatura (F)
enero	2.41	84
febrero	1.38	84
marzo	1.21	85
abril	2.89	87
mayo	3.03	88
junio	2.33	89
julio	3.34	89
agosto	3.61	90
septiembre	3.32	90
octubre	3.40	90
noviembre	4.31	89
diciembre	3.24	84

Tabla 3

*Parámetros en promedio de temperatura (<sup>o</sup>F), humedad, vientos máximos y mínimos (millas/horas) en área de estudio.*

Días	Mitigación	Temperatura( <sup>o</sup> F)	Humedad%	Vientos	
				Max	Min
Inicio	Bacardí	91	93	2.0	1.5
	Flexitank	90	93	2.0	1.6
Dos	Bacardí	89	91	2.2	0.9
	Flexitank	89	91	2.1	1.0
Cuatro	Bacardí	84	85	2.2	0.6
	Flexitank	93	93	3.1	1.2
Ocho	Bacardí	91	90	2.9	1.3
	Flexitank	93	93	1.7	0.7
dieciséis	Bacardí	93	93	3.1	1.0
	Flexitank	94	94	2.8	1.2
treinta y dos	Bacardí	99	100	2.6	0.8
	Flexitank	94	94	2.0	0.9
sesenta y cuatro	Bacardí	88	86	1.9	0.9
	Flexitank	86	86	1.5	0.9
Promedio		91	91.57	2.29	1.04

Tabla 4

*Datos de la masa (g) de Hojas por Especie dentro del Área de Estudio.*

Tiempo en # días	Peso en gramos de cada especie					
	Pterocarpus		Thespecia		Annona	
	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2
0	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
2	1.46	0.90	0.78	0.76	0.58	1.09
4	0.89	0.84	0.72	0.59	0.54	0.81
8	0.87	0.73	0.62	0.52	0.52	0.69
16	0.83	0.65	0.61	0.49	0.47	0.60
32	0.55	0.64	0.58	0.48	0.35	0.44
64	0.47	0.62	0.54	0.45	0.35	0.35

Tabla 5

*Tasa de descomposición (k) en g día<sup>-1</sup> de las especies dentro del área de estudio.*

Tiempo	<i>Pterocarpus</i>		<i>Thespesia</i>		<i>Annona</i>	
	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2
2	0.16	0.40	0.47	0.49	0.62	0.30
4	0.20	0.22	0.26	0.30	0.33	0.23
8	0.10	0.13	0.15	0.17	0.17	0.13
16	0.05	0.07	0.07	0.09	0.09	0.08
32	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
64	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
Tstudent	p=0.2436		p=0.4008		p=0.2286	



Tabla 6

*Correlación de tasa de descomposición de hojarasca de especies arbóreas y porcentaje de masa liberada en el área de mitigación en la Ciénaga Las Cucharillas.*

Correlación de <i>k</i> y porcentaje de masa liberada						
	<i>Pterocarpus</i>		<i>Thespesia</i>		<i>Annona</i>	
	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2
<i>k</i>	0.13	0.38	0.45	0.49	0.59	0.28
masa liberada	77	69	73	78	83	83
Pearson	1		1		1	

Tabla 7

*Tasa descomposición de nutrientes ( $k \text{ día}^{-1}$ ) a los 64 días de descomposición de las hojas de las especies en área de estudio.*

Nutriente	P1	P2	T1	T2	A1	A2
N	-0.0002	0.0003	0.0035	0.0015	-0.0051	-0.0319
K	0.0274	0.0314	0.0194	0.0130	0.0042	0.0270
P	0.0013	0.0084	0.0000	0.0263	0.0313	0.0012
Ca	0.0033	-0.0012	0.0052	0.0084	0.0392	0.0064
Mg	-0.0039	-0.0115	0.0013	0.0071	0.0084	0.0083

Tabla 8

*Porcentaje de Nitrógeno en las Hojas de las Especies dentro del Área de Estudio en Ciénaga Cucharillas*

Tiempo en # días	<i>Pterocarpus</i>		<i>Thespesia</i>		<i>Annona</i>	
	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2
0	2.70	2.79	1.68	0.72	0.98	1.19
2	2.77	2.23	0.86	0.79	1.64	1.18
4	2.70	2.33	1.13	0.94	1.86	1.20
8	2.44	2.18	0.94	0.93	2.01	0.91
16	2.62	2.05	0.88	0.87	1.01	9.20
32	2.74	1.68	1.21	1.29	2.17	0.83
64	2.73	2.74	1.34	1.63	2.37	8.90

Tabla 9

*Porcentaje de Potasio (K) en las Hojas de las Especies dentro del Área de Estudio en Ciénaga Cucharillas*

Tiempo	<i>Pterocarpus</i>		<i>Thespesia</i>		<i>Annona</i>	
	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2
0	1.10	0.97	0.76	0.46	0.30	0.62
2	0.73	0.83	0.23	0.35	0.99	0.42
4	1.37	0.58	0.27	0.25	0.76	0.66
8	0.19	0.19	0.18	0.14	0.20	0.16
16	0.05	0.17	0.19	0.15	0.29	0.15
32	0.12	0.16	0.18	0.12	0.16	0.27
64	0.19	0.13	0.22	0.20	0.23	0.11

Tabla 10

*Cantidad de fósforo (P) en las Hojas de las Especies dentro del Área de Estudio.*

Tiempo en # días	<i>Pterocarpus</i>		<i>Thespesia</i>		<i>Annona</i>	
	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2
0	0.13	0.12	0.11	0.81	0.74	0.14
2	0.12	0.12	0.74	0.71	0.11	0.14
4	0.10	0.09	0.70	0.12	0.12	0.15
8	0.08	0.09	0.45	0.09	0.57	0.12
16	0.08	0.07	0.59	0.63	0.09	0.14
32	0.09	0.15	0.49	0.33	0.08	0.09
64	0.12	0.07	0.11	0.15	0.10	0.13

Tabla 11

*Cantidad de Calcio (Ca) en las Hojas de las Especies dentro del Área de Estudio.*

Tiempo en # días	<i>Pterocarpus</i>		<i>Thespesia</i>		<i>Annona</i>	
	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2
0	1.33	1.88	2.35	4.29	4.05	3.81
2	0.95	1.42	4.15	3.60	2.55	4.98
4	1.06	2.45	4.19	4.20	2.49	6.20
8	1.32	2.18	2.81	0.41	4.08	2.82
16	1.49	2.44	4.87	3.73	0.25	3.81
32	1.72	3.20	3.76	3.73	1.99	0.33
64	1.08	2.03	1.69	2.50	0.33	2.53

Tabla 12

*Cantidad de Magnesio (Mg) en las Hojas de las Especies dentro del Área de Estudio.*

Tiempo en # días	<i>Pterocarpus</i>		<i>Thespesia</i>		<i>Annona</i>	
	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2
0	0.28	0.11	0.38	0.52	0.65	0.51
2	0.24	0.17	0.57	0.51	0.37	0.54
4	0.20	0.24	0.61	0.52	0.39	0.52
8	0.25	0.26	0.41	0.21	0.56	0.34
16	0.13	0.31	0.52	0.44	0.13	0.38
32	0.25	0.35	0.49	0.25	0.30	0.51
64	0.36	0.23	0.35	0.33	0.38	0.30

Tabla 13

*Tabla de características químicas del suelo en (ppm) de las especies dentro del área de estudio, al inicio.*

Caract.químicas	<i>Pterocarpus</i>		<i>Thespesia</i>		<i>Annona</i>	
	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2
P	5.12	19.54	4.4	18.49	10.83	14.95
K	61	124	74	99	57	96
Ca	1,961	4,070	1936	1,689	2,975	2,430
Mg	190	517.00	289	207	454	301
% Mat Org.	2.44	5.81	2.45	2.64	3.07	2.85
pH	6.92	7.01	7.05	5.95	7.65	7.78



Tabla 14

*Características químicas del suelo en ppm en nutrientes y porcentajes de materia orgánica al finalizar el estudio en ambas áreas mitigadas.*

Caract. Químicas	<i>Pterocarpus</i>		<i>Thespesia</i>		<i>Annona</i>	
	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2	Área 1	Área 2
P	5.35	9.42	4.89	4.89	8.52	11.23
K	44	83	117	120	49	80
Ca	1,928	2,462	2,978	3,318	3,002	2,762
Mg	150	419	409	420	380	321
% Mat Org.	1.83	3.73	2.9	4.16	4.65	3.07
pH	7.48	8.36	8.13	8.21	7.93	7.89

## FIGURAS



*Figura 1*

Mapa de distribución de humedales a nivel mundial. (Zedler & Kercher, 2005)



*Figura 2*

Foto área de la Ciénaga Las Cucharillas en Cataño, Puerto Rico. Cortesía del Sr. Carlos Morales, Área de Planificación Especial y Reserva Natural de la Ciénaga Las Cucharillas

Mapa del Area de Investigación en las Ciénaga Las Cucharillas, Cataño

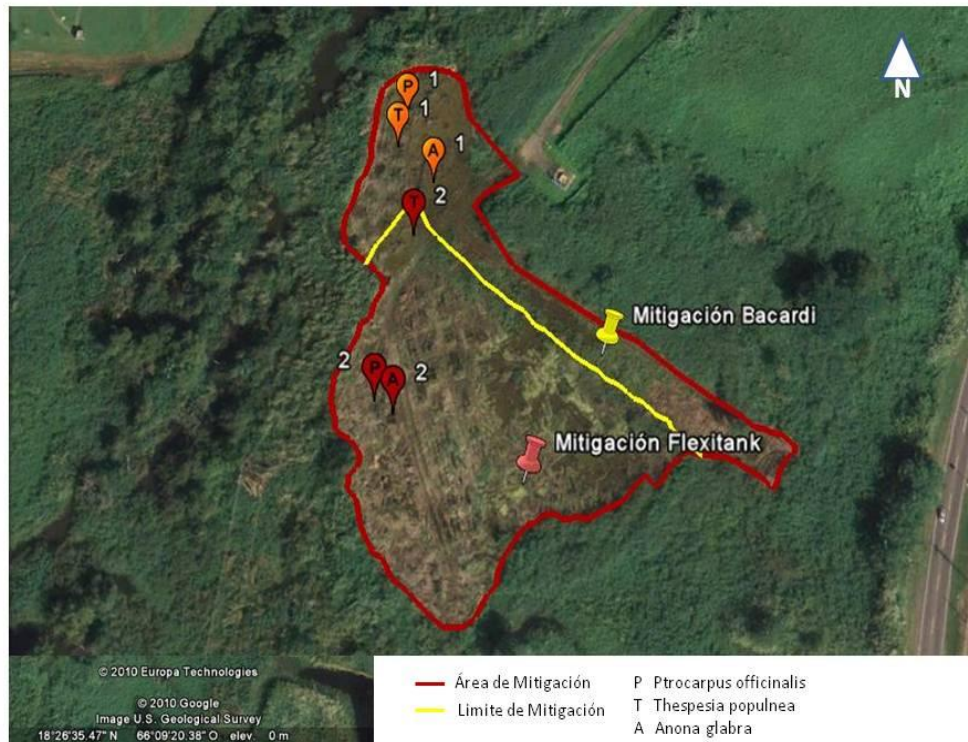


Figura 3

Localización de las especies arbóreas seleccionadas en la mitigación de la Ciénaga Las Cucharillas.

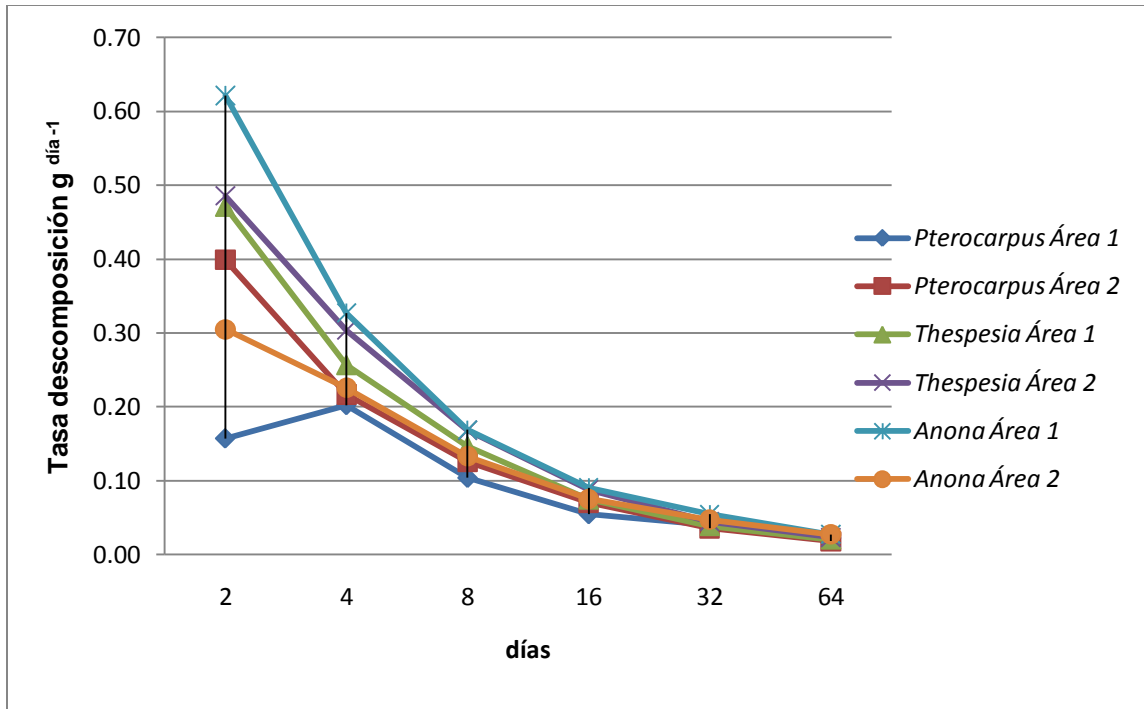


Figura 4

Correlación entre las tasas de descomposición de las especies arbóreas en las áreas mitigadas 1 y 2 en Ciénaga Las Cucharillas.

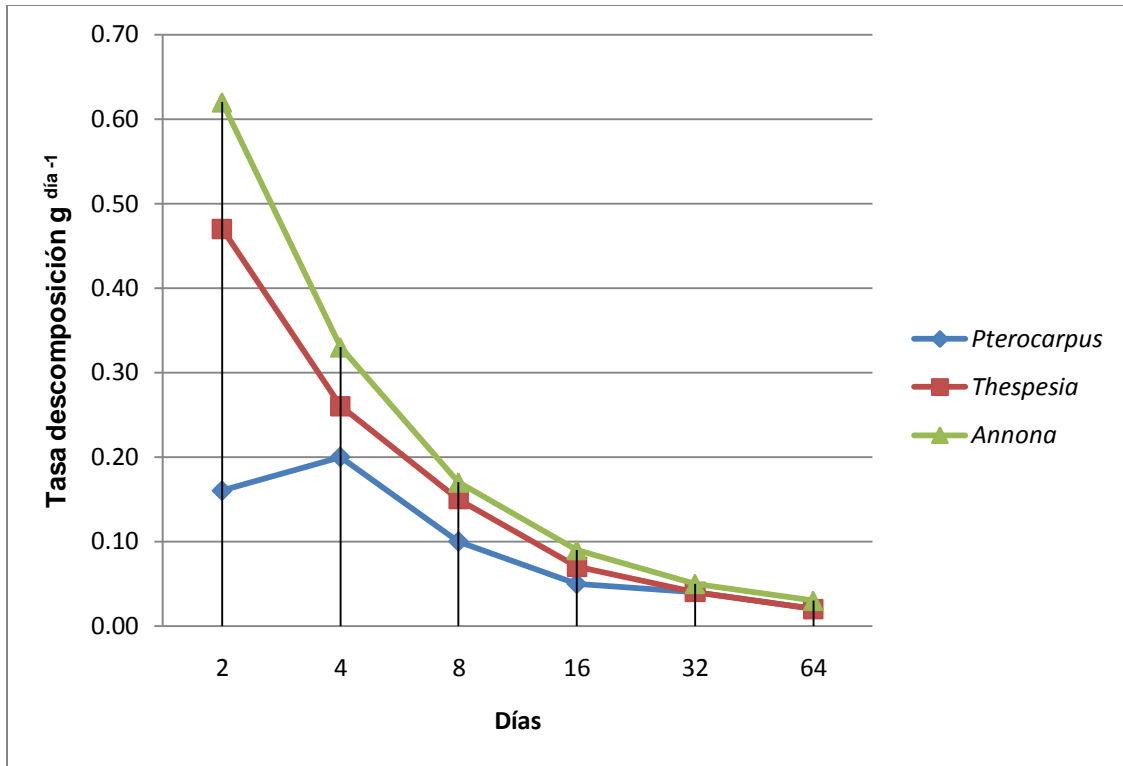


Figura 5

Correlación tasa descomposición de las especies arbóreas del área1 en la Ciénaga Las Cucharillas.

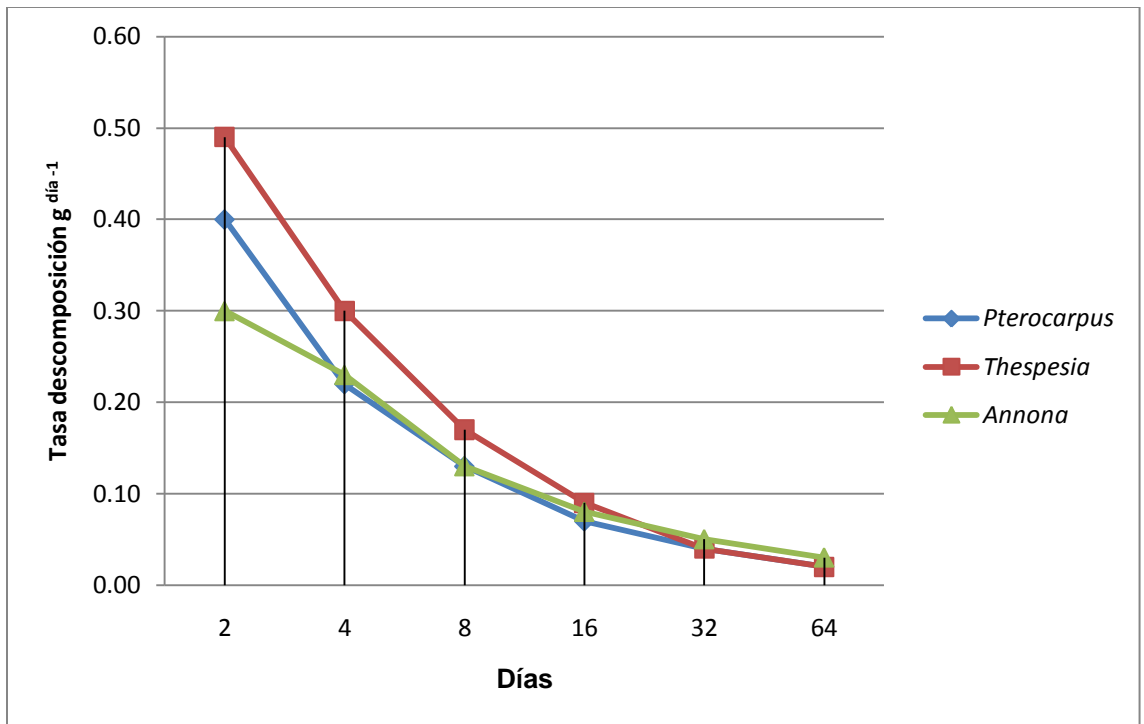


Figura 6

Correlación tasa descomposición de las especies arbóreas del área 2 en la Ciénaga Las Cucharillas.



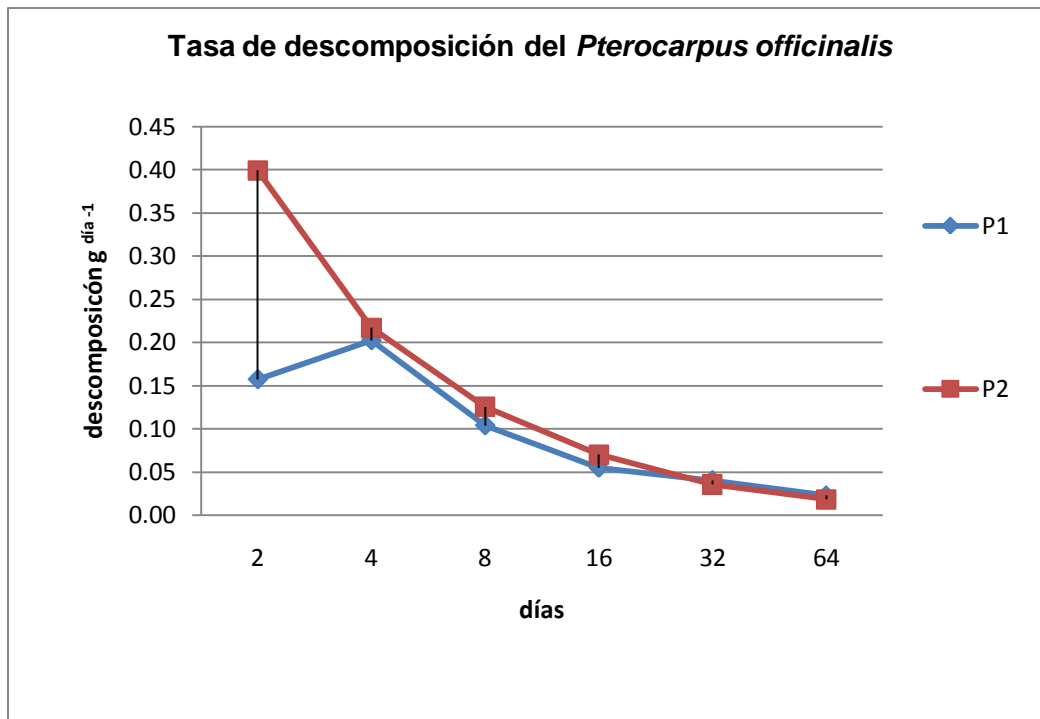


Figura 7

Correlación entre las tasa de descomposición de la especie *Pterocarpus officinalis* en las áreas mitigadas 1 y 2 en Ciénaga Las Cucharillas.

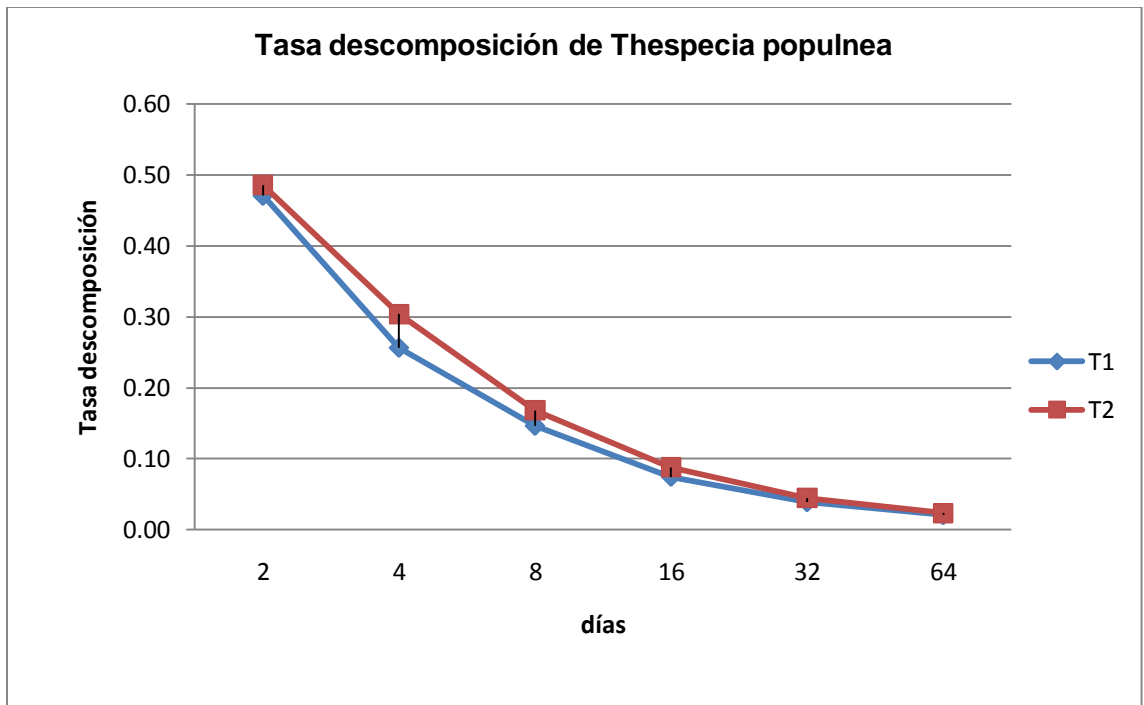


Figura 8

Correlación entre las tasa de descomposición de la especie *Thespesia populnea* en las áreas mitigadas 1 y 2 en Ciénaga Las Cucharillas.

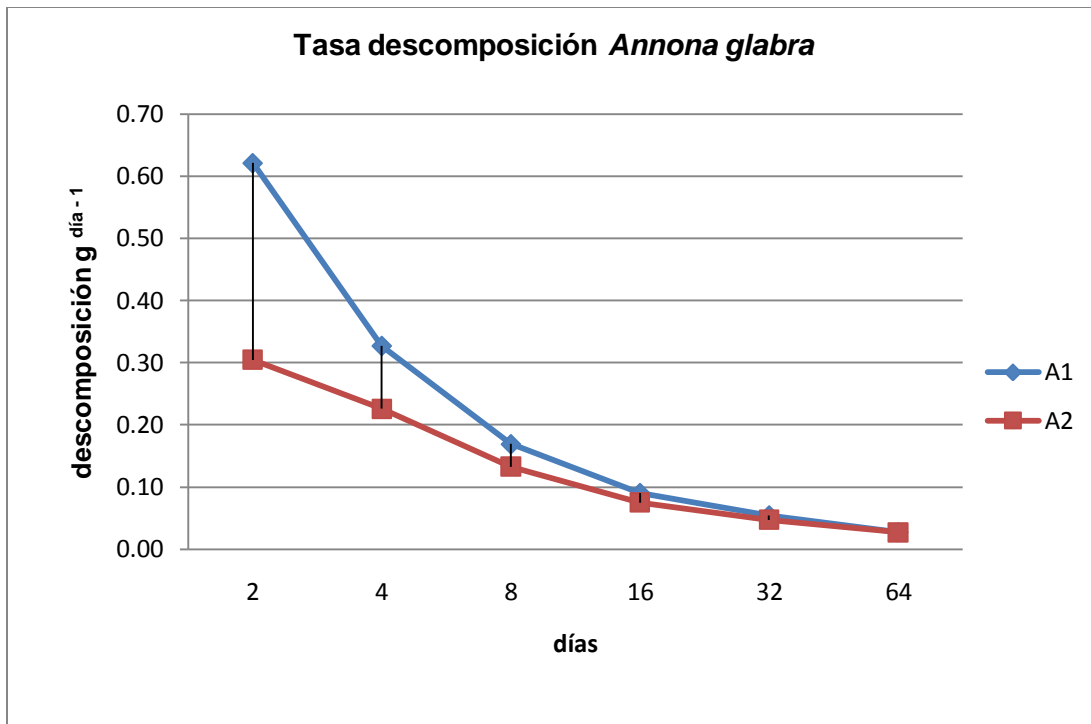
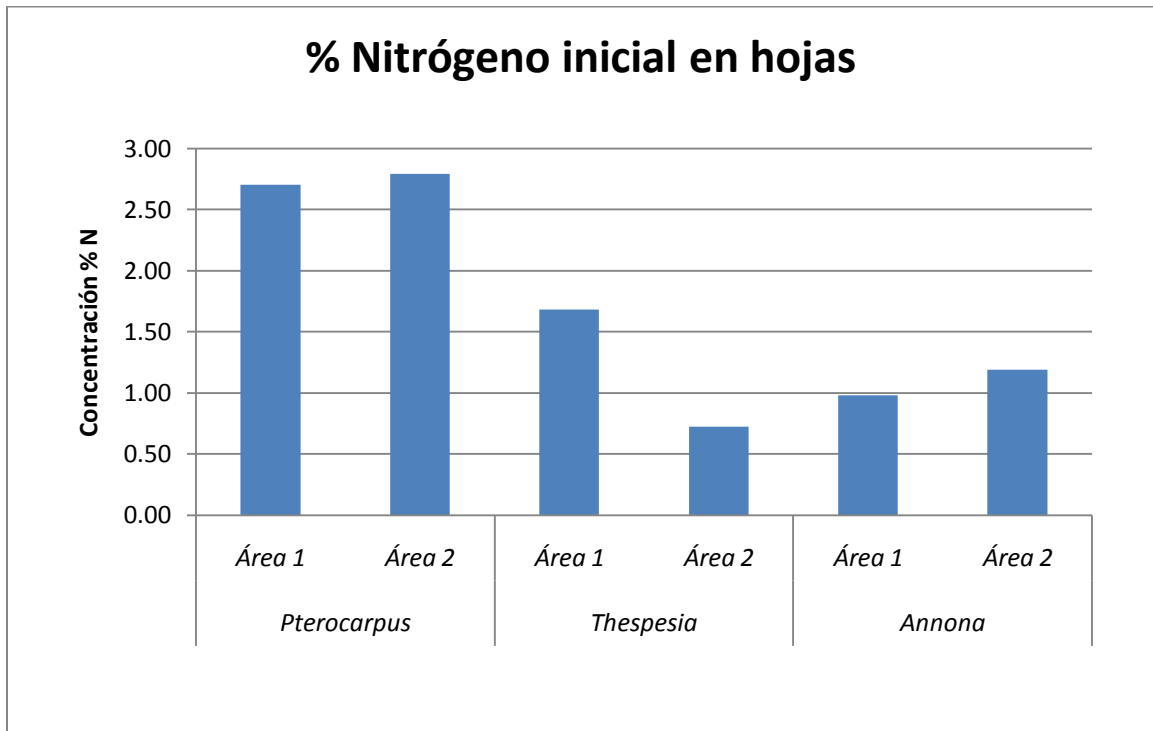


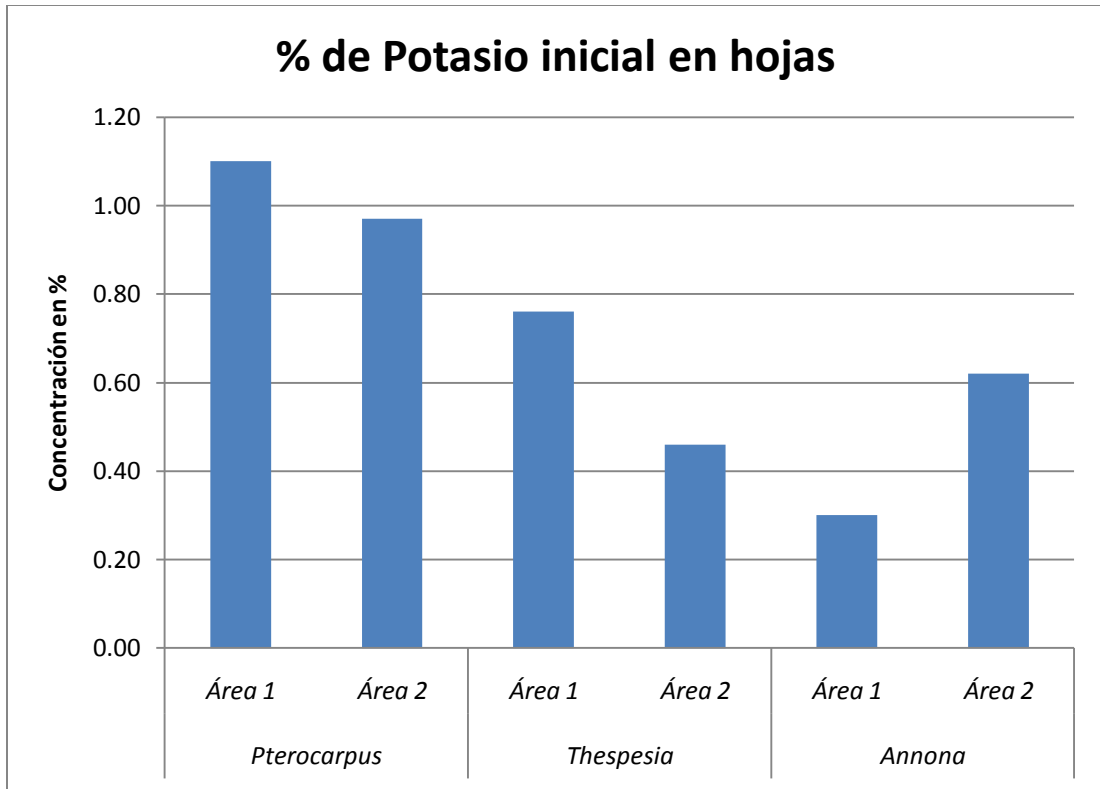
Figura 9

Correlación entre las tasa de descomposición de la especie *Annona glabra* en las áreas mitigadas 1 y 2 en Ciénaga Las Cucharillas



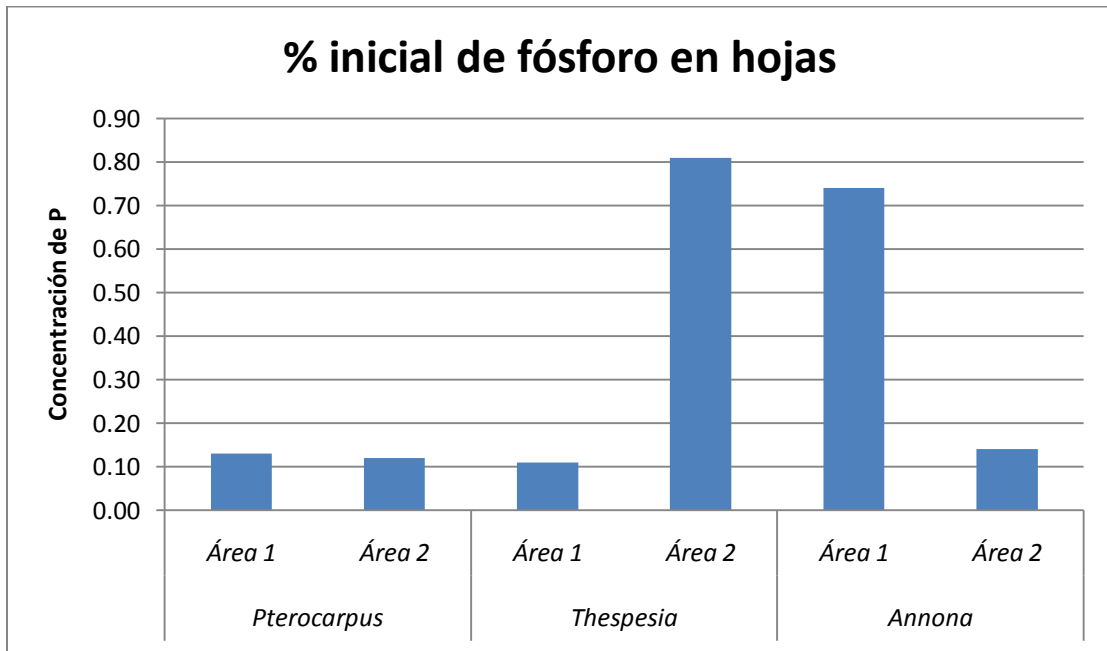
*Figura 10*

Correlación porcentaje de nitrógeno en hojas al inicio del estudio de las especie arbóreas en cada área mitigada de la Ciénaga Las Cucharillas.



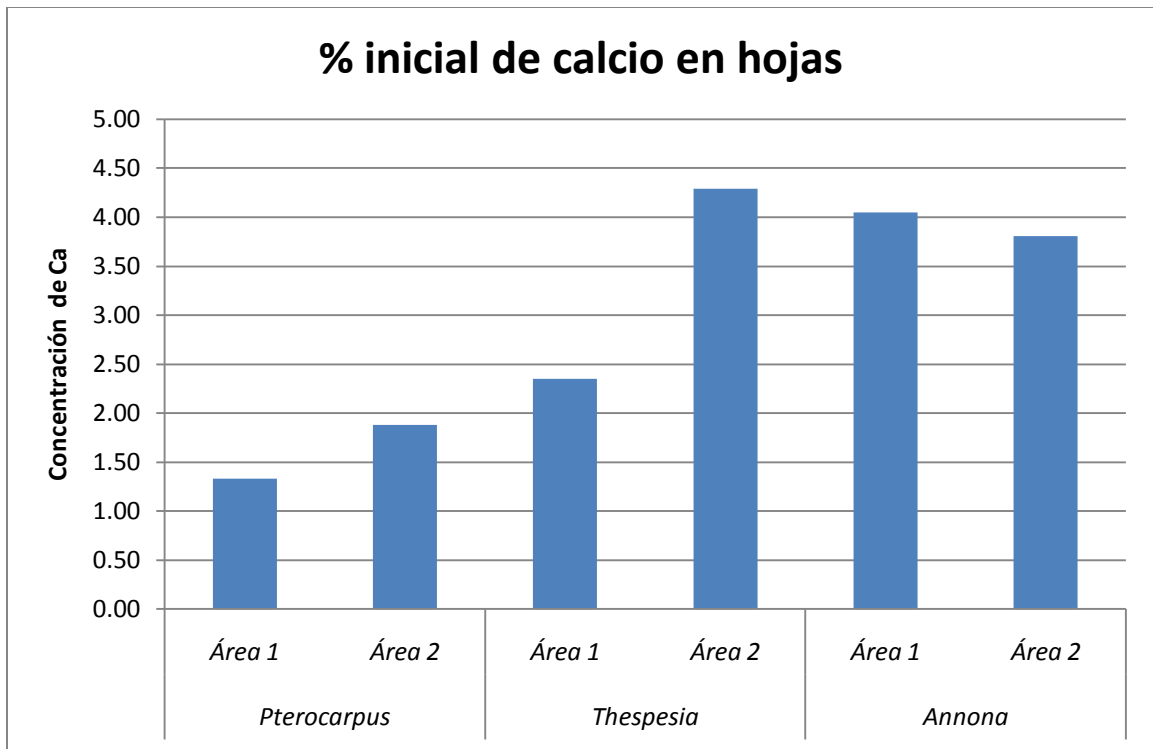
*Figura 11*

Correlación porcentaje inicial de K en hojas por especie en cada área mitigada en la Ciénaga Las Cucharillas en Cataño.



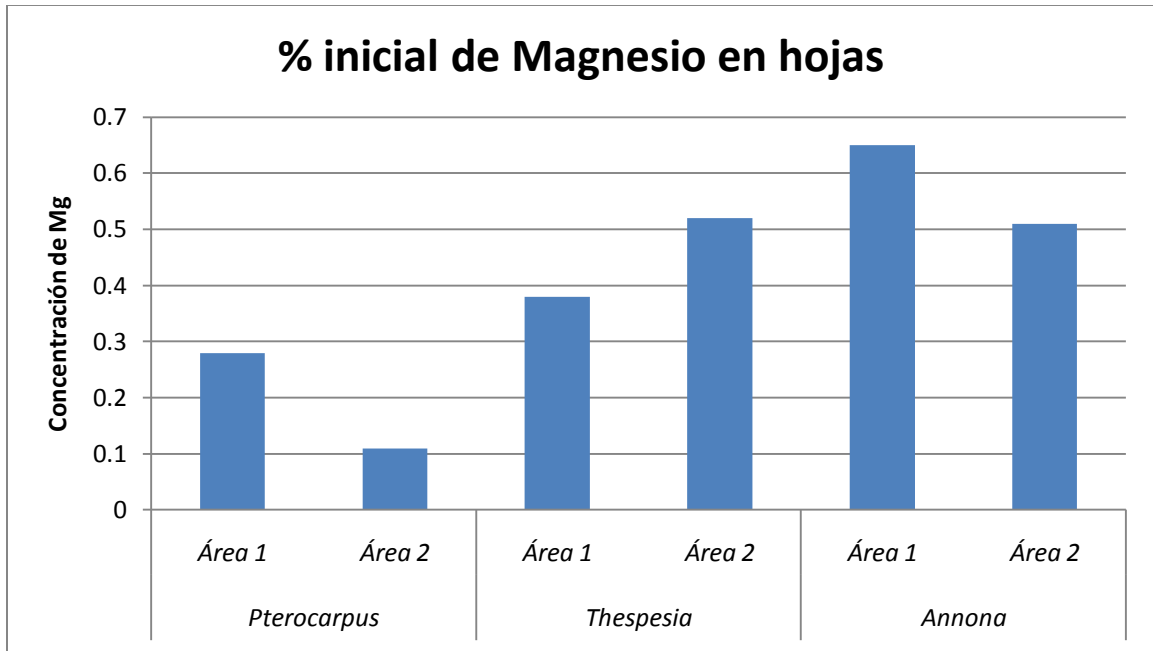
*Figura 13*

Correlación porcentaje inicial de fósforo en hoja de las especies en cada área mitigada de la Ciénaga las cucharillas.



*Figura 13*

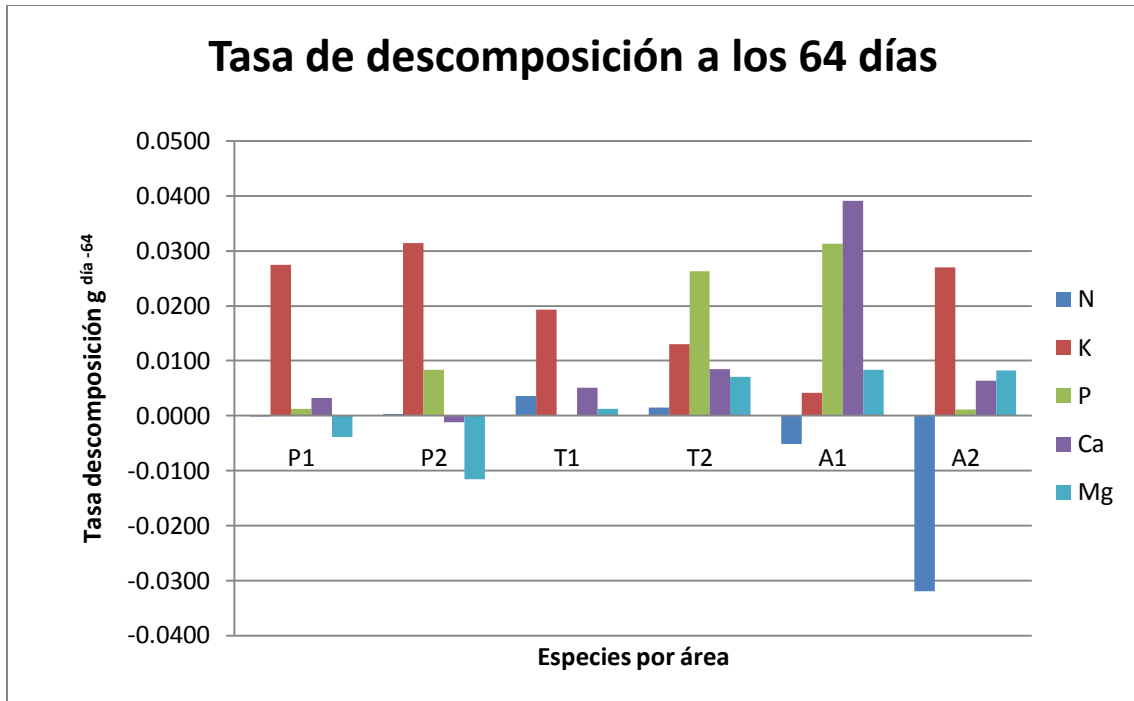
Correlación porcentaje inicial de Ca en hojas de cada especie en áreas mitigadas de la Ciénaga Las Cucharillas



*Figura 14*

Correlación porcentaje inicial de magnesio en las hojas de las especies arbóreas en las áreas mitigadas de la Ciénaga Las Cucharillas.





*Figura 15*

Correlación en la tasa de descomposición de nutrientes por especie arbórea en cada área mitigada.

## **APÉNDICE # 1**

**Resultados Agrológico en Dorado sobre la pérdida de masa, los porcentos en aportes de nutrientes de las especies y análisis de suelo.**



Núm. Lab	Identificación	#1 peso (gr.)	#2 peso (gr.)	#3 peso (gr.)
29689	11 sept - A1	2.15		
29690	14 sept - A2	3.26		
29691	14 sept - T1	1.55		
29692	14 sept - T2	2.27		
29693	14 sept - P1	4.37		
29694	14 sept - P2	2.20		
29716	16 sept- A1	0.36	0.70	0.76
29717	16 sept- A2	0.72	0.49	0.86
29718	16 sept- T1	0.53	0.51	0.69
29719	16 sept- T2	0.64	0.49	0.65
29720	16 sept - P1	0.85	0.84	0.92
29721	16 sept- P2	0.77	0.88	0.87
29750	22 sept - A1	1.29	1.50	0.78
29751	22 sept- A2	0.40	0.60	1.28
29752	22sept- P1	1.45	1.44	0.55
29753	22 sept- P2	0.90	1.01	0.93
29754	22 sept - T1	0.51	0.54	0.68
29755	22 sept - T2	0.52	0.80	0.78





Núm. Lab	Identificación	#1 peso ( gr.)	#2 peso (gr.)	#3 peso ( gr.)
29781	1 oct 09- A1	0.63	0.79	0.62
29782	1 oct 09- A2	1.10	0.44	0.91
29783	1 oct 09- P1	0.98	0.83	1.27
29784	1 oct 09- P2	0.94	1.35	1.07
29785	1 oct 09- 11	0.47	0.54	0.78
29786	1 oct 09- 12	0.53	0.49	0.54

0.78  
0.717  
0.6066





Núm. Lab	Identificación	#1 peso ( gr.)	#2 peso (gr.)	#3 peso ( gr.)
29889	19 oct 09- A1	0.58	0.83	0.75
29890	19 oct 09- A2	1.06	0.81	1.05
29891	19 oct 09- P1	0.89	1.00	1.67
29892	19 oct 09- P2	0.62	0.85	0.93
29893	19 oct 09- T1	0.35	0.25	0.66
29894	19 oct 09- T2	0.74	0.45	0.45



Maura Torres Sánchez  
P.O. Box 973  
Trujillo Alto P.R. 00977-0973

Estimada señora: Torres

Estamos incluyendo los resultados analíticos de las muestras de suelo y tejido foliar  
del pueblo de \_\_\_\_\_, recibidas en el Laboratorio el día 23 de noviembre de 2009  
Estas muestras pertenecen a: \_\_\_\_\_

**INFORME DE ANALISIS**

**ANALISIS**

Núm. Lab.	Identificación	pH	P ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	% Mat Org.
30065	suelo- 23 nov. 09 - A1	7.93	4.89	117	2,978	409	2.90
30066	suelo- 23 nov. 09 - A2	7.89	11.23	80	2,762	321	3.07
30067	suelo- 23 nov. 09 - T1	8.13	8.52	49	3,002	380	4.65
30068	suelo- 23 nov.09 -T2	8.21	4.89	120	3,318	420	4.16
30069	suelo- 23 nov. 09 - P1	7.48	5.35	44	1,928	150	1.83
30070	suelo- 23 nov. 09 - P2	8.36	9.42	83	2,462	419	3.73
		%N	%P	%K	%Ca	%Mg	
30071	Tejido Foliar- 23 nov.09 -A1	1.34	0.11	0.22	1.69	0.35	
30072	Tejido Foliar- 23nov.09 -A2	8.90	0.13	0.11	2.53	0.30	
30073	Tejido Foliar- 23 nov.09 -T1	2.37	0.10	0.23	0.33	0.38	
30074	Tejido Foliar- 23 nov.09 -T2	1.63	0.15	0.20	2.50	0.33	
30075	Tejido Foliar- 23 nov.09 -P1	2.73	0.12	0.19	1.08	0.36	
30076	Tejido Foliar- 23 nov.09 -P2	2.74	0.07	0.13	2.03	0.23	

Fecha: 23 diciembre 09

Analista: A Casasquillo

NOTA: Estos resultados representan una porción de la muestra traida al Laboratorio Agrológico y no son consideradas como muestras oficiales.

*[Handwritten signature]*  
Lcd. Carmen II Zayas  
Dinora Carmen D.  
Laboratorio Agrológico  
Alonso Torres  
Lic. #2059  
Asociado de Químicos y Químico Licenciado

<b>Núm. Lab</b>	<b>Identificación</b>	<b>#1 peso (gr.)</b>	<b>#2 peso (gr.)</b>	<b>#3 peso (gr.)</b>
30071	23 nov 09- A1	0.99	0.57	0.54
30072	23 nov 09- A2	0.35	0.47	0.21
30073	23 nov 09- T1	0.35	0.35	0.68
30074	23 nov 09- T2	0.86	0.52	0.48
30075	23 nov 09- P1	0.75	0.47	0.18
30076	23 nov 09- P2	0.65	0.72	1.00

## **APÉNDICE # 2**

**Fotos de las dos áreas mitigadas en Cucharillas**





**Mitigación área dos. Por: Maura Torres en 13/09/09.**



**Mitigación área uno. Por Maura Torres**

### **APÉNDICE 3**

**Identificación de las especies en las áreas mitigadas en Cucharillas.**





***Pterocarpus officinalis***  
**Por: Maura Torres. 13/09/09.**



***Annona glabra***  
**Por: Maura Torres 13/09/09.**





***Thespesia populnea***  
**Por: Maura Torres en 13/09/09.**

#### **APÉNDICE 4**

**Foto de pesaje de hojas de las especies en las áreas mitigadas en Cucharillas, Cataño.**



**Por: Maura Torres 13/09/09**

## **APÉNDICE 5**

**Foto colocación de «litter bags»**





**Por: Maura Torres 13/09/09**



Por: Maura Torres 13/09/09.





**Por: Maura Torres 13/09/09**



**Por: Maura Torres 13/09/09**



## **APÉNDICE 6**

**Foto midiendo la temperatura, humedad y velocidad de los vientos.**



**Por: Maura Torres 13/09/09**

## **APÉNDICE 7**

**Foto tomando muestras de suelo en el área de estudio.**



**Por Maura Torres 13/09/09**