

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

**EFICIENCIA EN EL USO DE LOS NUTRIENTES: NITRÓGENO (N), FÓSFORO (P) Y
POTASIO (K) EN ESPECIES ARBÓREAS UTILIZADAS EN LAS ÁREAS MITIGADAS
DE LA CIÉNAGA LAS CUCHARILLAS**

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

Por
Wilmer O. Rivera De Jesús

11 de mayo de 2011

DEDICATORIA

A mi Dios y Salvador por darme la fortaleza para cumplir esta etapa de mi vida profesional. A mis amados padres, Wilfredo Rivera y Noemí de Jesús y a mis hermanos, Javier Rivera y Ruth N. Rivera por brindarme su apoyo y comprensión durante el desarrollo de este trabajo. Los amo y gracias por ser parte de este logro.

AGRADECIMIENTOS

Mis más expresivas gracias a todos los profesores de formaron parte de mi formación ambiental en la Escuela de Asuntos Ambientales. A mi director del comité de tesis, Dr. Juan Musa, por servir de inspiración, modelo y ejemplo en mi carrera profesional y por guiarme durante el periodo del estudio. Gracias por brindarme tu apoyo y consejos sabios durante el desarrollo de este trabajo y por tener la personalidad y carácter que te distingue. Eres una persona especial. A la Dra. Álda Ortiz por ser parte de mi comité de tesis, por su apoyo incondicional y por ser una excelente educadora y ser humano. Siempre me has servido de ejemplo para mi práctica educativa. Al Sr. Oscar Abelleira, por formar parte de mi comité de tesis y por brindarme de su conocimiento para el desarrollo del trabajo. Gracias por tu entrega y apoyo, tus recomendaciones siempre fueron acertadas y valiosas. Te deseo todo el éxito del mundo en tus futuras metas. A la Dra. Tamara Heartsill y al personal del laboratorio del Instituto Internacional de Dasonomía Tropical por las recomendaciones al trabajo y por brindarme los equipos y el soporte técnico necesario en aspectos metodológicos.

Mi respeto y aprecio a la ayuda ofrecida por el personal del Laboratorio Agrológico del Departamento de Agricultura de P.R. en especial a la Lic. Sonia Carrasquillo, por su colaboración en cuanto a los análisis químicos. También, agradezco a Jossie Curbelo por la ayuda brindada en los trabajos en el campo. Gracias por tu interés y motivación en cuanto al desarrollo de este estudio. Agradezco al Sr. Carlos Morales por su orientación y ayuda en cuanto a la selección de las áreas que fueron estudiadas. A la empresa Bacardí por el acceso y seguridad ofrecida durante el periodo de estudio. Mis sinceras gracias al coordinador académico Alex Rodríguez, por su

disposición incondicional y por ser la persona enlace para recibir la beca de excelencia académica CESPR-PRIDCO y la beca PPOHA. A todos mis respetos y agradecimiento, son parte de este logro académico.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	vii-viii
LISTA DE FIGURAS	ix-x
LISTA DE APÉNDICES	xi
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	
Trasfondo del problema.....	1-4
Problema de estudio.....	4-6
Justificación.....	6-8
Pregunta de investigación	8
Meta	8
Objetivos	8-9
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA	
Trasfondo histórico	10-15
Marco teórico.....	15-30
Estudios de Caso	30-35
Marco legal.....	35-41
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	
Área de estudio	42-43
Descripción de las especies arbóreas	43-44
Muestreo y periodo del estudio.....	44-45
Objetivos metodológicos	45-47
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
Introducción.....	48
Propiedades foliares.....	48-49
Concentración de N, P y K en los suelos de las áreas mitigadas.....	49-50
%RT de N, P y K en función del factor de inundación.....	50-52
Variación temporal del %RT	52-54
%RT de N,P y K entre las especies arbóreas.....	54-56
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
Conclusiones.....	57-60
Recomendaciones.....	61-63
Limitaciones	63
LITERATURA CITADA	64-71

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Ubicación geográfica de los individuos por especie en la zona de estudio en áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación (secas).....	73
Tabla 2.	AFE promedio (SD) (n=3), concentraciones totales de N, P y K en hoja maduras y hojas senescentes (n=3) y retranslocación de N, P y K en <i>Pterocarpus officinalis</i> (n=4) y <i>Annona glabra</i> (n=5) en el área mitigada Flexitank-Noviembre 2010.(* Individuos en áreas inundables).....	74
Tabla 3.	AFE promedio (SD) (n=5), concentraciones totales de N, P y K en hojas maduras y hojas senescentes (n=5) y %RT (N, P y K) en <i>Pterocarpus officinalis</i> (n=5) y <i>Annona glabra</i> (n=5) en el área mitigada Flexitank-Enero 2011. (* Individuos en áreas inundables).....	75
Tabla 4.	AFE promedio (SD) (n=5), concentraciones totales de N, P y K en hojas maduras y hojas senescentes (n=5) y %RT (N, P y K) en <i>Pterocarpus officinalis</i> (n=5) y <i>Annona glabra</i> (n=5) en el área mitigada Flexitank-Febrero 2011. (* Individuos en áreas inundables).....	76
Tabla 5.	AFE promedio (SD) (n=4), concentraciones totales de N, P y K en hojas maduras y hojas senescentes (n=4) y %RT (N, P y K) en <i>Pterocarpus officinalis</i> (n=3) y <i>Annona glabra</i> (n=3) en el área mitigada Flexitank-Marzo 2011. (* Individuos en áreas inundables).....	77
Tabla 6.	AFE promedio (SD) (n=5), concentraciones totales de N, P y K en hojas maduras y hojas senescentes (n=5) y %RT (N, P y K) en <i>Pterocarpus officinalis</i> (n=5) y <i>Annona glabra</i> (n=5) en el área mitigada Bacardí-Enero 2011. (* Individuos en áreas inundables).....	78
Tabla 7.	AFE promedio (SD) (n=5), concentraciones totales de N, P y K en hojas maduras y hojas senescentes (n=5) y %RT (N, P y K) en <i>Pterocarpus officinalis</i> (n=5) y <i>Annona glabra</i> (n=5) en el área mitigada Bacardí-Febrero 2011. (* Individuos en áreas inundables).....	79
Tabla 8.	AFE promedio (SD) (n=5), concentraciones totales de N, P y K en hojas maduras y hojas senescentes (n=5) y %RT (N, P y K) en <i>Pterocarpus officinalis</i> (n=3) <i>Annona glabra</i> (n=3) en el área mitigada Bacardí-Marzo 2011. (* Individuos en áreas inundables).....	80

Tabla 9.	Retranslocación de N, P y K (%) en <i>Annona</i> de áreas inundables (n=1) y <i>Annona</i> en áreas menos expuestas a inundación (secas) (n=5) calculadas mediante (Ecuación 1)-%RT= $1 - [\% \text{ nutriente en hojas senescentes} / \% \text{ nutriente en hojas maduras}] \times 100$ y (Ecuación 2)-%RT= $[(\% \text{ de nutriente en hoja madura} / (\text{AFE hoja madura}) - (\% \text{ de nutriente en hoja senescente} / \text{AFE de hoja senescente})) / (\% \text{ de nutriente en hoja madura} / (\text{AFE hoja madura}))] \times 100$ durante el mes de marzo 2011. Se expone la probabilidad P obtenida mediante la prueba ANOVA-factor simple.....	81
Tabla 10.	Retranslocación de N, P y K (%) en <i>Pterocarpus</i> de áreas inundables (n=3) y <i>Pterocarpus</i> en áreas menos expuestas a inundación (secas) (n=3) calculadas mediante (Ecuación 1)-%RT= $1 - [\% \text{ nutriente en hojas senescentes} / \% \text{ nutriente en hojas maduras}] \times 100$ y (Ecuación 2)-%RT= $[(\% \text{ de nutriente en hoja madura} / (\text{AFE hoja madura}) - (\% \text{ de nutriente en hoja senescente} / \text{AFE de hoja senescente})) / (\% \text{ de nutriente en hoja madura} / (\text{AFE hoja madura}))] \times 100$ durante el mes de marzo 2011. Se expone la probabilidad P obtenida mediante la prueba ANOVA-factor simple.....	82
Tabla 11.	pH (n=5) y concentraciones totales de N, P y K (n=5) en los suelos de las áreas mitigadas. (*suelos en áreas inundables).....	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciénaga Las Cucharillas y área de estudio.....	85
Figura 2. Mapa del área estudio y localización de las especies arbóreas	86
Figura 3. Comparación en las concentraciones de N, P y K (\pm SE) entre los suelos de áreas inundadas (n=4) y áreas menos expuestas a inundación (secas) (n=6). (A)-representa N, (B)-representa P y (C)-representa K. Se expone la probabilidad <i>P</i> obtenida mediante la prueba ANOVA-factor simple.....	87
Figura 4. Retranslocación promedio de N (\pm SE) en <i>Annona</i> de áreas inundadas (n=3) vs. áreas secas (n=7) y retranslocación promedio de N (\pm SE) en <i>Pterocarpus</i> de áreas inundadas (n=5) vs. áreas secas (n=5). Las letras denotan diferencia significativa mediante la prueba ANOVA-factor simple ($\alpha \leq 0.05$)	88
Figura 5. Retranslocación promedio de P (\pm SE) en <i>Annona</i> de áreas inundadas (n=3) vs. áreas secas (n=7) y retranslocación promedio de P (\pm SE) en <i>Pterocarpus</i> de áreas inundadas (n=5) vs. áreas secas (n=5). Las letras denotan diferencia significativa mediante la prueba ANOVA-factor simple ($\alpha \leq 0.05$)	89
Figura 6. Retranslocación promedio de K (\pm SE) en <i>Annona</i> de áreas inundadas (n=3) vs. áreas secas (n=7) y retranslocación promedio de K (\pm SE) en <i>Pterocarpus</i> de áreas inundadas (n=5) vs. áreas secas (n=5).....	90
Figura 7. Variación temporal de la precipitación promedio (1971-2000) en la zona de Cataño. Los datos fueron registrado por la estación meteorológica, Cataño- (661845), del Centro Climatológico de la Región Sureste para el área de Puerto Rico e Islas Vírgenes. (A) representa la variación anual en la precipitación (n=12) y (B) representa la variación en la precipitación durante los meses que comprenden el periodo de estudio (n=5)	91
Figura 8. Retranslocación promedio de N en función del tiempo. (A) muestra la variación temporal de la retranslocación promedio de N para <i>Annona</i> (n=4) en áreas inundadas y secas. (B) muestra la variación temporal de la retranslocación promedio de N para <i>Pterocarpus</i> (n=4) en áreas inundadas y secas	92

Figura 9. Retranslocación promedio de P en función del tiempo. (A) muestra la variación temporal de la retranslocación promedio de P para <i>Annona</i> (n=4) en áreas secas y <i>Annona</i> (n=3) en áreas inundadas. (B) muestra la variación temporal de la retranslocación promedio de P para <i>Pterocarpus</i> (n=4) en áreas inundadas y secas.....	93
Figura 10. Retranslocación promedio de K en función del tiempo. (A) muestra la variación temporal de la retranslocación promedio de K para <i>Annona</i> (n=4) en áreas inundadas y secas. (B) muestra la variación temporal de la retranslocación promedio de K para <i>Pterocarpus</i> (n=4) en áreas inundadas y secas.....	94
Figura 11. Retranslocación promedio de N en relación al contenido total de N (%) en las hojas senescentes de las especies <i>Annona</i> (<i>An</i>) (n=3) y <i>Pterocarpus</i> (<i>Pt</i>) (n=5) en áreas inundadas y <i>Annona</i> (n=7) y <i>Pterocarpus</i> (n=5) en áreas secas. (A) representa los individuos en áreas inundadas y (B) representa los individuos en áreas secas. Se muestra el valor del coeficiente de correlación <i>Pearson</i> (r) y la probabilidad P.....	95
Figura 12. Retranslocación promedio de P en relación al contenido total de P (%) en las hojas senescentes de las especies <i>Annona</i> (<i>An</i>) (n=3) y <i>Pterocarpus</i> (<i>Pt</i>) (n=5) en áreas inundadas y <i>Annona</i> (n=7) y <i>Pterocarpus</i> (n=5) en áreas secas. (A) representa los individuos en áreas inundadas y (B) representa los individuos en áreas secas. Se muestra el valor del coeficiente de correlación <i>Pearson</i> (r) y la probabilidad P.....	96
Figura 13. Retranslocación promedio de K en relación al contenido total de K (%) en las hojas senescentes de las especies <i>Annona</i> (<i>An</i>) (n=3) y <i>Pterocarpus</i> (<i>Pt</i>) (n=5) en áreas inundadas y <i>Annona</i> (n=7) y <i>Pterocarpus</i> (n=5) en áreas secas. (A) representa los individuos en áreas inundadas y (B) representa los individuos en áreas secas. Se muestra el valor del coeficiente de correlación <i>Pearson</i> (r) y la probabilidad P.....	97

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1.	Foto de <i>Pterocarpus officinalis</i>	99
Apéndice 2.	Foto de <i>Annona glabra</i>	100
Apéndice 3.	Recolección del material foliar.....	101
Apéndice 4.	Recolección de hojas senescentes.....	102
Apéndice 5.	Muestras de hojas senescentes de las especies bajo estudio.....	103
Apéndice 6.	Muestras de hojas maduras de las especies bajo estudio.....	104
Apéndice 7	Resultados oficiales del Laboratorio Agrológico-Tejido Foliar	105-112
Apéndice 8.	Resultados oficiales del Laboratorio Agrológico-Suelo.....	114

LISTA DE SÍMBOLOS O ABREVIATURAS

%RT- Por ciento de Retranslocación

AEE-Autoridad de Energía Eléctrica.

AFE- Área foliar específica

A01-A05- Individuos de *Annona glabra*

Bac- Área de mitigación Bacardí

CUCCo-Comunidades unidas en contra de la contaminación.

DRNA-Departamento de Recursos Naturales y Ambientales

EUN-Eficiencia en el uso de nutrientes.

Flx- Área de mitigación Flexitank

JCA-Junta de Calidad Ambiental

K-Potasio

N-Nitrógeno

P- Fósforo

P01-P05- Individuos de *Pterocarpus officinalis*.

SUAGM-Sistema Universitario Ana G. Méndez

UMET-Universidad Metropolitana

USACE- United States Army Corps of Engineers

USEPA- Agencia de protección ambiental de Estados Unidos

USFWS-Servicio Federal de Pesca y de Vida Silvestre

WRAP-Wetland Rapid Assesment Procedure, por sus siglas en inglés

RESUMEN

La eficiencia en el uso de nutrientes (EUN) es un aspecto fisiológico que mide la eficiencia con que los nutrientes son utilizados por una planta para la producción de su biomasa (Vitousek, 1982; Lugo, 1998). Es una forma en cómo una planta incrementa su biomasa por unidad de nutriente reutilizado. Por otro lado la retranslocación (%RT), es un forma de estimar EUN en función de la cantidad de nutrientes que son removidos de los tejidos senescentes de la planta antes de que ocurra la abscisión de las hojas (Aerts,1996;Killingbeck,1996; Lugo,1998). Un mayor porcentaje de retranslocación indica una mayor EUN (Lugo,1998; Pérez et al., 2003). El presente estudio busca comparar la EUN de N, P y K mediante el %RT en *Pterocarpus officinalis* y *Annona glabra* entre áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación (secas) en la zona de mitigación en la Ciénaga Las Cucharillas. El objetivo es conocer el desempeño fisiológico de estas especies en función del factor de inundación, característico de este tipo de ecosistema, para conocer cómo la influencia de este componente incide en la eficiencia en el uso de nutrientes a nivel foliar. Este aspecto fisiológico fue utilizado con el fin de ofrecer recomendaciones de manejo efectivas para proyectos de mitigación en humedales y para asesorar en cuanto al uso más práctico de estas especies en las áreas mitigadas de la Ciénaga Las Cucharillas. Determinamos el porcentaje de retranslocación de N, P y K mediante el área foliar específica en hojas maduras y senescentes (Lugo, 1998), el contenido total de N, P y K en hojas maduras y senescentes y el contenido total de estos nutrientes en los suelos de las áreas mitigadas. En términos generales encontramos que la inundación es un factor influyente en el desempeño fisiológico de estas especies al observarse diferencias significativas en la retranslocación de estos nutrientes. *Pterocarpus* presentó significativamente los porcentajes de retranslocación más altos en áreas menos expuestas a inundación. Además, para nutrientes típicamente más limitados como lo son el P y K (Motagnini & Jordan, 2002; Lugo, Brinson & Brown, 1990), encontramos que *Pterocarpus* mostró ser más eficiente en comparación con *Annona* especialmente en áreas menos expuestas a inundación. Estos resultados demuestran que la inundación puede influir en la disponibilidad de nutrientes y por consiguiente en el desempeño fisiológico de las especies en términos de retranslocación de nutrientes (Kozlowski,1984;Lugo et al., 1990). En términos de recomendaciones de manejo, nuestros datos sugieren que *Pterocarpus officinalis* puede ser empleado en mayor proporción sobre todo en áreas menos expuestas a inundación, debido a la alta eficiencia que posee para los nutrientes estudiados. Este hecho debe ser considerado para las áreas mitigadas en la Ciénaga Las Cucharillas y para proyectos de mitigación en humedales en donde se quieran emplear estas especies.

ABSTRACT

Nutrient use efficiency (NUE) is a physiological aspect, which measures the efficiency with which nutrients are used by a plant for the production of biomass. (Vitousek, 1982; Lugo, 1998). This is one way how a plant increases its biomass per unit of nutrient reuse. On the other hand, retranslocation (%RT), is a way to estimate NUE depending on the amount of nutrients that are removed from senescent tissues of the plant before the leaf abscission occurs (Aerts,1996;Killingbeck,1996;Lugo,1998). A higher retranslocation indicates a higher NUE (Lugo,1998; Pérez et al., 2003). This study sought to compare the NUE of N, P and K using the % RT in *Pterocarpus officinalis* and *Annona glabra* from flooded areas and areas less exposed to flooding (dry) in the mitigation zone in the Cucharillas Swamp. The aim is to understand the physiological performance of these species as a function of flooding factor, characteristic of this type of ecosystem, to know how the influence of this component affects the efficiency of nutrients use at leaf level. This physiological aspect was used to provide effective management recommendations for wetland mitigation projects and to recommend on the most practical use of these species in mitigated areas of the Cucharillas Swamp. We measured the rate of retranslocation of N, P and K by specific leaf area in mature and senescent leaves (Lugo, 1998), the total content of N, P and K in mature and senescent leaves and total content of these nutrients in the soil. Overall we found that the flooding is a factor in the physiological performance of these species to the observed differences in the retranslocation of these nutrients. *Pterocarpus* presented retranslocation rates significantly higher in areas less prone to flooding. Furthermore, typically more limited for nutrients such as P and K (Motagnini & Jordan, 2002; Lugo, Brinson & Brown, 1990), we found that *Pterocarpus* proved to be more efficient compared to *Annona* especially in areas less prone to flooding. These results show that flooding could affect the availability of nutrients and therefore in the physiological performance of the species in terms of nutrient retranslocation (Kozłowski,1984; Lugo et al., 1990). In terms of management recommendations, our data suggests that *Pterocarpus officinalis* can be used in greater proportion especially in areas less prone to flooding because it has a high efficiency for the nutrients studied. This fact should be considered for areas mitigated in the Cucharillas Swamp and other wetland mitigation projects.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Trasfondo del problema

Los humedales son ecosistemas de gran importancia debido a los diversos procesos ecológicos que en ellos ocurren y por la alta diversidad biológica que sustentan (Zedler & Kercher, 2005). Entre sus beneficios, los humedales favorecen la mitigación de las inundaciones y la erosión costera. También, mediante la retención de sedimentos y nutrientes y la transformación y/o remoción de contaminantes, los mismos juegan un papel fundamental en el reciclaje de nutrientes y en la limpieza y calidad de las aguas (Lugo, Brinson & Brown, 1990; Lugo, 2006). Los humedales debido a su alta productividad pueden llegar a albergar diversas poblaciones de especies que se encuentran amenazadas y en peligro de extinción. También pueden albergar especies nativas y endémicas que solo se pueden encontrar en estos ecosistemas (Stedman & Hanson, 2000). Además de sus funciones ecológicas los humedales, históricamente, se han utilizado para la producción agrícola y de materia prima de alto valor comercial como por ejemplo: la pesca, producción de sal y producción de madera entre otros (Lellis-Dibble, McGlynn & Bigford, 2008; Mitsch & Gosselink, 2000; Cicin & Knech, 1998). El uso de los humedales para estos y demás fines ha provocado diversas presiones e impactos sobre estos ecosistemas. Muchos de estos impactos se ven ejemplificados en el uso de estos ecosistemas como vertederos clandestinos debido al manejo indebido de los desperdicios sólidos, los cuales pueden producir contaminantes que alteran el funcionamiento del ecosistema y problemas de bio-acumulación entre los componentes tróficos (Tiner, 1999). En Estados Unidos, varios reportes han demostrado la rápida pérdida de zonas de humedal debido a estas y otras actividades. Según los datos desde 1780 al 1980 se han perdido alrededor del 53% de los humedales,

ocurriendo la mayor pérdida en los estados de: Florida, Texas, Ohio, Indiana, Illinois y Minnesota. Se entiende que la causa principal ha sido la actividad agrícola desmedida. (Mitsch & Gosselink, 2000; Dahl, 1990).

En Puerto Rico, la Ciénaga Las Cucharillas, humedal localizado en el municipio de Cataño dentro del área metropolitana de San Juan, ha sufrido una serie de impactos producto de los diversos desarrollos que históricamente se han dado en esta zona. Según el *Plan Maestro para la restauración, protección y co-manejo de la Ciénaga Las Cucharillas*, (Escuela de Asuntos Ambientales, 2004), eventos tales como: la invasión de terrenos para el establecimiento de comunidades que carecían de un sistema sanitario, alteraciones a la cuenca hidrográfica como la canalización del río Bayamón, la construcción de carreteras, el desarrollo industrial desmedido y la falta de planificación han sido algunos de los eventos más significativos que han traído como consecuencia la degradación ecológica del humedal y la contaminación del hábitat que afecta tanto a la vida silvestre como a la comunidad. El área donde se encuentra la ciénaga las Cucharillas está constituido por el remanente de la cuenca hidrográfica del Río Bayamón la cual cuenta con apenas 1,200 cuerdas de terreno en donde la mayor parte de estas han sido desarrolladas para usos que no son cónsonos con las características ecológicas del área como la agricultura, desarrollos residenciales y el establecimiento de zonas industriales. El área circundante a la ciénaga contaba con una serie de sistemas de mangles y caños los cuales fueron secados para desarrollar industrias y nuevos accesos hacia la isleta de San Juan provocando la fragmentación del hábitat y la alteración de sus recursos ecológicos (Escuela de Asuntos Ambientales, 2004). En la actualidad, varios de los problemas ambientales provocados por el desarrollo industrial desmedido en el área circundante a la Ciénaga Las Cucharillas, han ocasionado que agencias tales como la U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), hayan expedido sanciones sobre varias empresas del área. Producto de estas sanciones la

Empresa Bacardí, debido a sus descargas ilegales de aguas residuales en la Bahía de San Juan viola la Ley Federal de Agua Limpia de 1972 conocida como el Clean Water Act obligando a la misma a transferir 10 acres de terrenos a la Universidad Metropolitana (UMET) del Sistema Universitario Ana G. Méndez (SUAGM). Estos terrenos fueron cedidos con el fin de ser conservados y mitigados ya que fueron alterados para la construcción de un acceso a la carretera PR-868. En estos terrenos la empresa Bacardí llevó a cabo una mitigación en un área equivalente a 1 acre con el fin de mitigar los daños ocasionados (Arana, 2008; Franceschini, 2008). Para esta mitigación la empresa Bacardí contrató los servicios de la Compañía Ambienta la cual es una empresa que planifica y desarrolla proyectos de mitigación. Por otro lado la empresa Flexitank, dedicada al trasbordo de productos líquidos en tanques, como requisito de construcción de sus instalaciones, realizaron una mitigación adyacente a los trabajos de mitigación desarrollados por la compañía Ambienta. Esta área comprende alrededor de 2 acres de terreno la cual tuvo que ser mitigada por la construcción de un proyecto industrial adyacente a la parcela de conservación de la Compañía Bacardí (Franceschini, 2008). Para esta mitigación Flexitank contrató los servicios de la compañía Reforesta la cual es una empresa dedicada al desarrollo de proyectos de mitigación. Las mitigaciones llevadas a cabo por estas compañías han consistido básicamente en cambiar el contorno del suelo creando montículos para la siembra de árboles en el área inundada, la introducción de nuevas especies de plantas nativas y típicas de humedal y el control de especies invasivas (Arana, 2008; Franceschini, 2008).

Las especies arbóreas usadas en estas mitigaciones fueron principalmente: *Pterocarpus officinalis* (palo de pollo), *Annona glabra* (cayur, anón de pantano o corazón cimarrón) y *Thespesia populnea* (emajaguilla) entre otras (Franceschini, 2008), las cuales son especies nativas y típicas de humedal (Medina, Cuevas & Lugo, 2007; Little,

1988). Los proyectos de mitigación desarrollados en Cucharillas han ayudado en cuanto a la restauración de este ecosistema, sin embargo, los estudios para conocer cuan exitosas han sido las especies empleadas en las áreas mitigadas, en términos del re-establecimiento de la productividad, producción de biomasa, aporte de nutrientes, reciclaje de nutrientes y la eficiencia en el uso de nutrientes (NUE) hasta el momento son limitados. En un ecosistema degradado como Cucharillas, es de suma importancia conocer como las mitigaciones realizadas han sido efectivas re-estableciendo los procesos básicos de reciclaje de nutrientes, mediante el empleo de especies arbóreas que sean capaces de aumentar la productividad primaria y el aporte de nutrientes en el sistema. El evaluar la eficiencia en el uso de nutrientes nos brinda información importante para fines de manejo al momento de emplear especies las cuales sean efectivas en áreas que hayan sido impactadas y degradadas (Montagnini, Jordan & Machado, 2000).

Problema de estudio

Las mitigaciones realizadas en la Ciénaga Las Cucharillas fueron desarrolladas durante el año 2006. La mitigación realizada por la compañía Ambienta tuvo como objetivo principal restablecer las funciones del humedal mediante el incremento de las cualidades del ecosistema, el control de especies invasivas, la disminución de contaminantes y la creación de montículos para la siembra de especies arbóreas nativas y típicas de humedal en las áreas inundadas (Arana, 2008; Franceschini, 2008). Por otro lado, la compañía Reforesta tuvo como objetivo principal el remplazar la pérdida del hábitat, la siembra de especies nativas de humedal y mejorar la calidad del agua del humedal. El objetivo de esta mitigación fue incrementar la biodiversidad al rehabilitar el humedal boscoso y restaurar el mismo con suficiente capacidad para fijar y almacenar nutrientes (Franceschini, 2008). Los estudios que se han desarrollado en las

áreas mitigadas, nos brindan información básica sobre la estructura forestal, descripción de las áreas mitigadas en términos de impactos y usos y en cuanto a la descomposición de hojarasca y aporte de nutrientes de las especies arbóreas empleadas en estas mitigaciones (Arana, 2008; Franceschini, 2008; Torres, 2010), pero al momento se desconoce cuan eficientes son estas especies en cuanto al uso de los nutrientes N, P y K y como el factor de inundación, típico de estos ecosistemas, pueden influir en el desempeño fisiológico de estas especies para de esta forma ofrecer recomendaciones de manejo efectivas que vayan dirigidas al desarrollo de proyectos de restauración exitosos en estos ecosistemas.

La eficiencia en el uso de nutrientes (EUN) es un parámetro forestal de gran importancia ya que el mismo puede servir como una herramienta útil cuando se trata de mantener la productividad en un ecosistema y para recuperar y conservar los nutrientes a largo plazo en sistemas que han sido impactados y degradados (Motagnini & Jordan, 2002; Cuevas & Lugo, 1998). La EUN se resalta como un parámetro forestal esencial debido a que nos brinda información sobre las distintas respuestas ecofisiológicas que puede mostrar una especie dentro de un sistema forestal bajo ciertas condiciones ambientales. Este aspecto es sumamente importante ya que al momento de decidir cuál o cuáles especies pueden ser las más óptimas para la restauración de algún área degradada se puede tomar en cuenta cuan eficiente es la misma en cuanto al uso de nutrientes los cuales podrían estar limitados en el ecosistema (Motagnini & Jordan, 2002). Este estudio pretende realizar una evaluación cuantitativa sobre la eficiencia en el uso de los nutrientes N (Nitrógeno), P (Fósforo) y K (Potasio) (Vitousek, 1982;1984; Lugo, 1998) mediante la retranslocación de estos nutrientes (%RT) (Aerts, 1996; Lugo, 1998; Allison & Vitousek, 2004) en las especies arbóreas *Pterocarpus officinalis* y *Annona glabra* en las áreas mitigadas de la Ciénaga las Cucharillas. El objetivo es conocer como el desempeño fisiológico de estas especies varía entre áreas inundables

y áreas menos expuestas a inundación, evaluando si existen diferencias en el %RT entre estas especies. También, mediante la proeficiencia en la reabsorción de N,P y K (Killingbeck, 1996), queremos determinar cómo se diferencian los %RT entre estas especies para determinar cuál es más eficiente en el uso de estos nutrientes. Mientras mayor sea el %RT de N, P y K mayor será la eficiencia con que estos nutrientes son utilizados por estas especies (Allison & Vitousek, 2004; Lugo, 1998; Aerts,1996).

Justificación del estudio

La EUN mide la eficiencia con que los elementos esenciales para el crecimiento de una planta son utilizados por la misma para la producción de biomasa y para la productividad primaria (Lugo, 1998). Cuando una planta es considerada eficiente en el uso de nutrientes, denota una forma en como fisiológicamente la misma incrementa la cantidad de biomasa producida por unidad de nutriente reutilizado (Escudero y Mediavilla 2003). Este parámetro forestal ha sido extensamente estudiado ya que su aplicación ha servido para la restauración de sistemas degradados, para la práctica agrícola y en la determinación de condiciones ecológicas (Montagnini & Jordan, 2002). La EUN se ha estimado comúnmente mediante la razón entre el peso seco de la hojarasca en función de su contenido de nutriente expresado en masa (Vitousek,1982;1984). Esta forma de estimar EUN, desarrollada por Vitousek en el 1982, ha sido utilizada en múltiples estudios para conocer la eficiencia en el uso de nutrientes en especies arbóreas a nivel de ecosistemas (Vitousek, 1982;1984; Vitousek & Stanford, 1986; Lugo et al., 1990).

Por otro lado varios estudios han resaltado el uso del porcentaje de retranslocación (%RT) como una forma efectiva para estimar EUN comúnmente utilizado para estudios a nivel de especie (Kobe, Iyer & Lepczyk, 2005; Allison & Vitousek, 2004; Pérez et al., 2003; Wright & Westoby, 2003; Aerts,1996;

Killingbeck,1996). El %RT indica la cantidad de nutrientes que son removidos de los tejidos senescentes de la planta antes de que la hoja se desprenda o caiga (senescencia), expresado comúnmente como la cantidad de nutrientes en el tejido foliar por unidad de área foliar específica (AFE) (Lugo, 1998). El %RT también conocido como *nutrient resorption efficiency* o *retranslocation efficiency* (Aerts,1996;Killingbeck,1996) se calcula comúnmente mediante la razón entre el contenido total de nutrientes en hojas senescentes en función del contenido total de nutrientes en hojas maduras (Allison & Vitousek, 2004; Pérez, Armesto, Torre Alba & Carmona, 2003). El %RT es un estimado directo de la EUN, en donde un mayor %RT coincide con un alto índice de EUN (Lugo, 1998; Pérez et al., 2003).

Otro aspecto importante relacionado a la EUN, es su relación con la disponibilidad de nutrientes en los suelos. Estudios previos, evaluando EUN en diversas especies arbóreas han encontrado que en suelos con una pobre disponibilidad de nutrientes, las plantas que son más eficientes en cuanto al uso de nutrientes, reflejan un alto índice de EUN y un mayor %RT. Esto indica que la planta reabsorbe mayor contenido nutriente de los tejidos senescentes como respuesta ecofisiológica provocando que la misma sea menos dependiente de los recursos disponibles en el suelo. (Montagnini et al., 2000; Cuevas & Lugo 1998; Silver, 1994; Bridham, Pastor, Mc Clagherty & Richardson,1995; Knops et al., 1997). Este aspecto es de suma importancia ya que plantas más eficientes en el uso de nutrientes pueden ser capaces de desarrollarse en ambientes variados incluyendo aquellos que presentan mayor estrés ambiental. Por tal razón el evaluar %RT entre las especies arbóreas *Pterocarpus officinalis* y *Annona glabra* en las áreas mitigadas, nos puede brindar una idea de cómo las mismas están respondiendo al sistema mitigado y el éxito que han logrado tener en cuanto al uso de nutrientes y la producción de biomasa. El estudiar la EUN entre estas especies nos ayuda a evaluar desde un punto de vista ecológico el éxito de las

mitigaciones desarrolladas en Cucharillas y a su vez contribuye a aumentar el conocimiento sobre la fisiología de *Pterocarpus officinalis* y *Annona glabra* para fines de restauración y manejo.

Preguntas de investigación

¿Existe alguna diferencia en la retranslocación (%RT) de N, P y K en *Annona glabra* y *Pterocarpus officinalis* entre áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación (secas)?

¿Cómo compara los %RT de N, P y K entre las especies *Annona glabra* y *Pterocarpus officinalis* en áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación?

Meta

Evaluar la eficiencia en el uso de los nutrientes (EUN) N, P y K mediante la retranslocación (%RT) en *Pterocarpus officinalis* y *Annona glabra* entre áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación en la zona de mitigación de la Ciénaga Las Cucharillas, para conocer el desempeño fisiológico de estas especies y ofrecer recomendaciones de manejo efectivas.

Objetivos:

1. Obtener el área foliar específica (AFE) de hojas maduras y senescentes de las especies arbóreas *Pterocarpus officinalis* y *Annona glabra*, para determinar el %RT de N, P y K corregido por AFE (Lugo, 1998).

2. Determinar las concentraciones totales de N, P y K en hojas maduras y hojas senescentes de las especies *Pterocarpus officinalis* y *Annona glabra* en las áreas mitigadas.
3. Determinar las concentraciones totales de N, P y K bajo los suelos donde se encuentran las especies *Pterocarpus officinalis* y *Annona glabra* en áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación.
4. Evaluar (EUN) en *Pterocarpus officinalis* y *Annona glabra* mediante el %RT como la razón entre la concentración de nutrientes N, P y K en hojas senescentes y en hojas maduras (Allison & Vitousek, 2004; Lugo, 1998, Pérez et al., 2003).
5. Ofrecer recomendaciones de manejo efectivas para proyectos de mitigación en humedales.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Trasfondo Histórico

Los humedales, históricamente, han sido percibido como ecosistemas de poco valor y de poca importancia por la comunidad en general (Lugo, 2006). Este desconocimiento ha provocado que estos importantes sistemas ecológicos hayan sido severamente impactados por diversas actividades de origen antropogénico. Mundialmente, se ha estimado que cerca del 9% al 10% de la superficie terrestre está compuesta por zonas de humedal de los cuales el 50% de estos se han perdido como resultado de diversas actividades humanas, siendo la desecación de los mismos para fines agrícola, la causa principal de su desaparición (Zedler & Kercher, 2005). Situaciones como el calentamiento global preocupa la estabilidad futura de estos sistemas debido a que se ha pronosticado que el aumento en el nivel del mar y las inundaciones costeras eliminarán extensas zonas de humedales costeros (Nicholls, Hoozemans & Marchand, 1999). Según el estudio se predice que las zonas de humedal con mayor vulnerabilidad a este impacto serán las islas del caribe producto del aumento en el nivel del mar. Por otro lado el aumento exponencial de la población humana a provocado que la misma se expanda hacia las zonas costeras, en donde globalmente cerca del 21% de la población humana vive en los 30Km de la zona costera (Nicholls et al., 1999; Cicin & Knecht, 1998). Producto de esta expansión y del crecimiento poblacional, el desarrollo urbano en las zonas costeras ha sido otro factor que ha impactado significativamente a estos ecosistemas eliminando amplias zonas de humedal para el desarrollo de infraestructuras de tipo industrial, residencial, recreativas entre otras. Muchos podrían ser los ejemplos que se pueden mencionar los cuales han provocado la pérdida de humedales a nivel mundial, pero es de suma importancia

resaltar que aquellos humedales que han logrado sobrevivir a estos impactos sufren de una gran degradación, principalmente por alteraciones a sus patrones hidrológicos, problemas de salinización, eutroficación, aumentos en la sedimentación y aumentos en el depósito de contaminantes (Brinson & Malvarez, 2002). El exceso en la sedimentación, aumento en la concentración de nutrientes que estimulan el crecimiento de plantas invasoras y la contaminación producto de las descargas industriales y la actividad agrícola desmedida son algunos de los principales factores de riesgo que presentan actualmente los humedales (Brinson & Malvarez, 2002).

Desarrollo histórico e impactos en La Ciénaga Las Cucharillas

En Puerto Rico, al igual que en otras partes del mundo, la mayoría de los humedales han sido víctimas de la actividad agrícola, la expansión urbana y del desarrollo industrial desmedido (Lugo, 2006). Un ejemplo de estos humedales, el cual ha sufrido un impacto significativo a lo largo de su historia, es La Ciénaga Las Cucharillas localizada en el municipio de Cataño. El área actual de esta ciénaga es uno de los pocos lugares sin desarrollar en el municipio de Cataño. Debido a los impactos antes mencionados desde el 1962 hasta el presente, se han perdido aproximadamente el 50% de las áreas verdes del municipio de Cataño (Escuela de Asuntos Ambientales, 2004). Eventos como la invasión de terrenos para el establecimiento de comunidades que carecían de un sistema sanitario, alteraciones a la cuenca hidrológica del Río Bayamón producto de su canalización, el desarrollo de estructuras de transporte (carreteras, canales, bahías), el desarrollo industrial desmedido y el desarrollo de nuevos proyectos residenciales son algunos de los impactos más significativos producidos en esta zona (Escuela de Asuntos Ambientales, 2004; Arana, 2008). Dichas acciones han traído como consecuencia la fragmentación de este ecosistema (Figura 1), la degradación ecológica del humedal y la contaminación del hábitat que afecta tanto

a la vida silvestre como a la comunidad en general (Plan Maestro UMET, 2004; Arana, 2008; Negrón, 2008).

Para el 1960 gran parte del municipio de Cataño era catalogado como uno rural y ya para el año 1980 se clasificó como uno de carácter urbano. El área que comprende la Ciénaga las Cucharillas está constituida por el remanente de la cuenca hidrográfica del Río Bayamón la cual cuenta con apenas 1,200 cuerdas de terreno en donde la mayor parte de estas, han sido desarrolladas para usos que no son cónsonos con las características ecológicas del área. La zona circundante a la ciénaga contaba con una serie de sistemas de mangles y caños los cuales fueron secados para desarrollar accesos a la isleta de San Juan. Estos accesos permitieron el establecimiento de nuevas zonas residenciales en las cuales muchas de las estructuras carecían de sistemas de alcantarillado y de los debidos permisos de construcción. Este proceso se dio desde el 1873 en donde el gobernador Francisco Pi y Margoll dio órdenes para desecar los humedales de Cataño para ofrecer solares en venta (Escuela de Asuntos Ambientales, 2004). Esto provocó un aumento acelerado de la población y el desarrollo de viviendas provocando descargas directas de aguas residuales sobre la ciénaga. Este desarrollo residencial se aceleró, debido a que el área de Cataño se convirtió en una zona de intercambio de bienes y servicios y desembarco y embargo de provisiones desde la municipalidad de Bayamón hacia San Juan. Para el año 1920, el municipio de Cataño contaba con más de 5 empresas que servían de sustento a muchos de los residentes de este municipio. Para la década de los 60, la Autoridad de los Puertos comenzó a extender y mejorar las facilidades portuarias, permitiendo así el establecimiento de nuevas industrias y almacenes en las costas de la bahía incluyendo el municipio de Cataño (Escuela de Asuntos Ambientales, 2004). En términos generales, podemos establecer que el perfil histórico que ha rodeado la Ciénaga Las Cucharillas demuestra una mala planificación y un desarrollo desmedido lo cual ha

traído como consecuencia una serie de impactos ambientales sobre la estructura ecológica de este ecosistema y una presión actual sobre los remanentes de la misma. A base de estos hechos podemos mencionar que los impactos más significativos que han afectado este ecosistema han sido las descargas industriales y residenciales, la proliferación de vertederos clandestinos en terrenos aledaños a la ciénaga, la liberación de lixiviados que se depositan directamente en la ciénaga, aumento en la sedimentación por alteraciones a la cuenca hidrográfica, fragmentación del hábitat producto del desarrollo urbano desmedido, la invasión por especies exóticas, aumento en las fuentes dispersas de contaminación y aumentos en la concentración de diversos contaminantes químicos peligrosos (Escuela de Asuntos Ambientales, 2004; Arana, 2008; Franceschini, 2008; Negrón, 2008). Todos estos impactos han provocado la necesidad de mitigar muchos de los daños que se han generado en esta zona y la necesidad de desarrollar estudios de investigación científica dirigidos a ofrecer recomendaciones efectivas para la conservación y manejo de este importante sistema ecológico.

Áreas mitigadas en la ciénaga Las Cucharillas

Como hemos mencionado, producto de las sanciones generadas por la USEPA a la Empresa Bacardí, la misma se ve en la obligación de ceder al SUAGM alrededor de 10 cuerdas de terrenos para ser conservados y mitigados (Figura 2) ya que los mismos fueron alterados debido a la construcción de un acceso a la carretera PR-868 y también como requisito de construcción de las instalaciones de la industria Flexitank la cual es una empresa dedicada a la elaboración de tanques (Escuela de Asuntos Ambientales, 2004; Franceschini, 2008). Las mitigaciones desarrolladas en Cucharillas han consistido básicamente en cambiar el contorno del suelo mediante el establecimiento de montículos en la zona inundada para la siembra de las especies arbóreas, la introducción de especies de plantas nativas de humedal y el control de especies

invasivas (Arana, 2008; Franceschini, 2008). En el estudio desarrollado por Franceschini (2008) se empleó la metodología (WRAP)-“*Wetland Rapid Assessment Procedure*” desarrollado por la división de manejo de recursos naturales del Sur de la Florida, con la que se evaluaron las condiciones existentes en las áreas mitigadas y en las áreas pre-mitigación en la Ciénaga Las Cucharillas. En esta evaluación se encontró que los terrenos que representan las condiciones base, pre-mitigación, estaban compuestos principalmente por un humedal de tipo herbáceo dominado por especies invasivas de gramíneas tales como: *Paspalum faciculatum*, *Brachiaria purpurascens* y *Thypha domingensis*. Según el WRAP, en términos de vida silvestre, se describe esta zona como un humedal con evidencia mínima de usos para la vida silvestre. A nivel de hábitat, se describe como un humedal con gran impacto, fragmentado y con pocos habitáculos para especies nativas como aves, mamíferos y reptiles, entre otros.

Por otro lado, los terrenos mitigados por las compañías Ambienta y Reforesta, según los criterios de WRAP, están constituidos por un humedal de tipo herbáceo-boscoso cuyas especies arbóreas, son típicas de humedal en donde las más dominantes son: *Pterocarpus officinalis*, *Annona glabra*, *Laguncularia racemosa* y *Thespesia populnea*. Estos terrenos muestran un nivel de utilización por la vida silvestre moderado en las que se evidenció la presencia de diversas especies de reptiles, aves y anfibios. Bajo los criterios de WRAP se entiende que estos terrenos poseen fuentes adecuadas de alimentación para la vida silvestre, habitáculos, mayor conexión a zonas de vegetación (poca fragmentación) y evidencia mínima de disturbios humanos. Esta evaluación demuestra una diferencia entre las condiciones pre-existentes en la ciénaga versus las condiciones existentes en las áreas mitigadas de la Ciénaga Las Cucharillas. En la actualidad muchas de las estrategias para conservar y proteger este ecosistema y las zonas aledañas ha sido el desarrollo de diversos grupos de base comunitaria, como Comunidades Unidas Contra la Contaminación (CUCCo) y la Fundación de humedales

de Puerto Rico, P.R. Wetland Foundation (PRWF, por sus siglas en inglés), (Plan Maestro, UMET 2004). También, cabe resaltar que al presente existe una orden ejecutiva firmada por la ex-gobernadora Sila M. Calderón, Orden ejecutiva Num. OE-2004-49, en la que se le ordena a la Junta de Planificación a realizar las acciones necesarias para designar la Ciénaga Las Cucharillas, el islote artificial aledaño a la Península la Esperanza y los remanentes de humedal del Río Bayamón y del Río Hondo como una reserva natural. Para el 2007 se designó la Ciénaga Las Cucharillas como reserva natural. Los terrenos incluidos bajo esta orden ejecutiva son de gran importancia no tan solo para preservar un recurso natural de alto valor ecológico, sino para que las comunidades que le rodean puedan educarse y tener una mejor calidad de vida. También, parte de estos esfuerzos de conservación van dirigidos a aumentar la investigación enfocada en establecer técnicas efectivas de conservación y manejo para estos importantes ecosistemas.

Marco Teórico

Humedales: Características y Clasificación

El término humedal se refiere a una amplia variedad de hábitats interiores, costeros y marinos que comparten ciertas características uniformes. Los humedales se identifican como áreas que se inundan periódicamente por flujos de agua dulce y agua salobre (Mitsh & Gosselink, 2000). En mucho de los humedales la capa freática aflora en la superficie provocando que los suelos estén constantemente inundados. Los humedales son ecosistemas altamente productivos en donde las inundaciones producen suelos dominados por procesos anaeróbicos que fuerzan a las plantas a exhibir adaptaciones tolerantes a inundaciones (Keddy, 2000). En los humedales, el agua, juega un rol fundamental en la determinación de la estructura y de las funciones

ecológicas (Lugo et al., 1990; Mitsch & Gosselink, 2000). La predominancia del agua hace que los humedales tengan características diferentes de los demás ecosistemas terrestres. Una de ellas es que suelen presentar una gran variabilidad tanto en tiempo y espacio lo cual determina en gran manera la diversidad biológica que se encuentra en los mismos. Muchas de estas especies desarrollan adaptaciones para sobrevivir a cambios que pueden llegar a ser extremos como por ejemplo, hidroperiodos de gran amplitud, intrusión salina extrema, acumulación de materia orgánica, entre otros (Turner, 2001). El Servicio Federal de Pesca y de Vida Silvestre (USFWS) define un humedal como una zona transicional entre un sistema terrestre y acuático. También, establece, que los mismos deben poseer los siguientes atributos: dominados por hidrofitas (plantas que pueden crecer en agua), suelos con poco drenaje (anaeróbicos) y suelos saturados e inundados casi todo el tiempo. El Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USACE) los define como áreas que son inundadas o saturadas por aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración suficiente para sostener, bajo circunstancias normales, la prevalencia de vegetación típicamente adaptada para vivir en condiciones de suelos saturados.

Se conoce que los humedales son ecosistemas altamente productivos ya que presentan relaciones tróficas fuertes a lo largo de sus componentes bióticos y una gran cantidad de nutrientes presentes en los suelos determinado por los hidroperiodos (Lugo et al, 1990; Mitsch & Gosselink, 2000; Zedler & Kercher, 2005). Según el esquema de clasificación de humedales desarrollado por (Cowardin et al. 1979) los humedales están clasificados en: humedales estuarinos, riverinos, lacustrinos y palustrinos. Dentro de esta clasificación, los tipos principales de humedales que podemos encontrar a base de su vegetación son: pantanos de agua dulce, pantano mareal de agua salada y salobre, ciénagas, bosques de mangle y bosques pantanosos. Según, (Mitsch & Gosselink, 2000) los humedales también se pueden clasificar a base de su localización geográfica

como humedales costeros y humedales interiores. Los humedales costeros son típicamente pantanos de agua salobre, pantanos costeros de agua dulce, ciénagas de agua salobre y bosques de mangle. Por otro lado los humedales interiores están constituidos principalmente por: ciénagas de agua dulce, pantanos interiores de agua dulce y humedales ribereños. En Estados Unidos y sus territorios los humedales interiores dominan un área aproximada de 107Mha por lo que en términos territoriales estos humedales son más comunes y más abundantes que los humedales costeros (Mitsch & Gosselink, 2000). Como ya se ha expuesto la estructura de un humedal es influenciado principalmente por su hidrología. La hidrología tiene dos componentes, el primero incluye el aspecto físico del agua y su movimiento: precipitación, flujo superficial, dirección y energía del movimiento del agua y su química. El otro componente es el hidroperíodo, su frecuencia, profundidad y la época de inundación (Brinson & Malvarez, 2002). El hidroperíodo ejerce una gran influencia en la composición de la vegetación ya que afecta la germinación de semillas, sobrevivencia y mortalidad de las especies de plantas. A nivel federal tanto el USACE como la USEPA tienen jurisdicción sobre los humedales al ser regulados por la Ley Federal de Agua Limpia Clean Water Act los cuales juntos al USFWS velan por que los mismos mantengan su hidrología, suelos orgánicos y su biodiversidad.

Servicios de los humedales

Los humedales son ecosistemas de gran importancia debido a los diversos servicios que los mismos ofrecen tanto al ambiente como a la sociedad (Cicin & Knecht, 1998). Muchas de estos servicios ocurren a través de procesos naturales los cuales le brindan al ambiente una serie de beneficios. Entre los procesos naturales que se desarrollan en los humedales se encuentra en primera instancia la filtración de las aguas de escorrentías y la recarga de acuíferos (Mitsch & Gosselink, 2000). Por otro

lado los humedales favorecen la mitigación de las inundaciones y la erosión costera (Zedler & Keshler, 2005). Además, a través de la retención de sedimentos y nutrientes y la transformación y remoción de contaminantes los mismos juegan un papel fundamental en el reciclaje y disponibilidad de nutrientes y en cuanto a la limpieza y calidad de las aguas (Zedler & Keshler, 2005; Lugo et al., 1990). Los humedales son un importante recurso de biodiversidad debido a que por su alta productividad, pueden llegar a albergar una alta diversidad de especies que se encuentran amenazadas y en peligro de extinción. Por otro lado los humedales proveen hábitat para una gran diversidad de aves migratorias, aves acuáticas, peces y organismos semi-acuáticos (Mc Alliste et al., 2001). Cabe señalar que cerca del 45% de las especies enlistadas como amenazadas o en peligro de extinción por el Servicio Federal de Pesca y Vida Silvestre (USFWS) dependen directa o indirectamente de los humedales para su supervivencia. Estos ecosistemas además de poseer estas funciones ecológicas son utilizados para la producción de materia prima de alto valor comercial como lo es la extracción de sal, el carbón y la madera (Lellis-Dibble et al., 2008). En estos ecosistemas la sal se almacena debido a la acumulación del agua de mar, la cual es filtrada por las distintas especies arbóreas, en especial los bosques de mangles, y por procesos de evaporación en donde la sal es acumulada en los suelos (Medina et al., 2007). También, los humedales, representan ecosistemas de gran importancia comercial ya que mucho de estos sirven como viveros naturales para el desarrollo de diversas especies de peces de gran valor para el consumo y para la pesca recreacional (pesca artesanal, acuicultura, comercial y deportiva) (Stedman & Hanson, 2000).

En términos generales, podemos realzar las siguientes funciones ecológicas que redundan en servicios importantes al ambiente y la sociedad: mantenimiento de la diversidad biológica, estabilidad de áreas perturbadas, mitigación de inundaciones, prevención de intrusión salina en acuíferos, protección costera contra desastres

naturales, protección contra la erosión, retención y remoción de sedimentos, retención de nutrientes, retención y remoción de contaminantes, recarga de acuíferos, hábitat crítico de vida silvestre y la filtración de agua de escorrentías (Cicin & Knetch, 1998). Además de estas funciones se pueden resaltar diversos usos que se pueden obtener de los humedales tales como: agricultura, recreación y turismo, abastos de agua, viveros naturales para la pesca comercial y recreacional, materia prima (madera, carbón, sal, entre otros), forraje para la actividad ganadera y para investigación y educación (Cicin & Knetch, 1998).

Conservación de humedales

Tomando en cuenta las características y servicios que estos ecosistemas nos brindan es necesario el desarrollo de herramientas efectivas para lograr un manejo sostenible sobre los humedales en el que se promueva su conservación y la utilización equilibrada de sus recursos a través de una planificación integrada. Dado a los diversos esfuerzos de conservación que se han desarrollado tanto a nivel internacional como a nivel estatal actualmente se ha tomado más conciencia sobre la conservación de humedales y la necesidad de que los mismos sean manejados adecuadamente. Muchas legislaciones tanto a nivel federal como estatal prohíben el uso indebido y el deterioro de estos ecosistemas. Algunas acciones como el desarrollo de leyes federales tales como la Ley Federal de Agua Limpia de 1972 , el surgimiento de organizaciones a nivel internacional como la Convención sobre Humedales de Importancia Internacional (Ramsar, 1971), el surgimiento de agencias que velan por la conservación y el manejo de estos ecosistemas tales como: el DRNA, USEPA, USACE, USFWS, entre otras y el surgimiento de varias organizaciones de base comunitaria han sido elementos claves que han promovido la importancia de conservar este recurso y la necesidad de buscar e implementar técnicas efectivas de conservación y manejo que tengan como fin el

restaurar las funciones ecológicas de los humedales que han sido de alguna manera impactados. La restauración de un ecosistema es un proceso complejo que requiere planificación, implementación y un manejo integrado (Cicin & Knecht, 1998). Este proceso envuelve la restauración de humedales naturales que han sido degradados con el fin de reclamar sus funciones y valores como ecosistemas esenciales para el ambiente y la sociedad (Zedler & Kercher, 2005). Sí bien es cierto que la restauración conlleva información científica confiable, no es menos cierto que la restauración también requiere de un manejo integrado para que la aplicación científica sea exitosa (Cicin & Knecht, 1998). Por tal razón un manejo integrado debe incluir no solo agencias gubernamentales, sino las comunidades para que los esfuerzos de conservación sean exitosos.

En cuanto a técnicas y metodologías de restauración aplicables a humedales, la Sección 404 de la Ley Federal de Agua Limpia, preparó un documento titulado, "*Compensando por Pérdidas de Humedales*", el cual contiene recomendaciones para agencias estatales y federales sobre cómo trabajar en cuanto a la rehabilitación de las funciones de los humedales los cuales que se han perdido producto de diversas actividades de origen antropogénico. En Puerto Rico, se llevan a cabo diversos esfuerzos de conservación de humedales liderados por agencias de gobierno como el DRNA y subsidiados por agencias federales como por ejemplo; las Salinas de Cabo Rojo, la Laguna Cartagena, Bahía de Jobos, entre otras. En el área metropolitana de San Juan varios grupos colaboran en iniciativas de restauración para el Sistema del Estuario de la Bahía de San Juan (EBSJ) de la cual la Ciénaga las Cucharillas forma parte. El Consorcio del Estuario de la Bahía de San Juan ha desarrollado un Plan Integral de Manejo y Conservación que une agencias y grupos cuyos esfuerzos van dirigidos a la restauración del Estuario de la Bahía de San Juan. Entre los grupos y agencias están: El Corredor del Yaguazo Inc., CUCCO, Clubes 4H, UPR, CURA, EPA,

DRNA, el municipio de Cataño, Sierra Club y el U.S. Coast Gard, entre otros. Estos han desarrollado actividades de siembra, remoción de desperdicios sólido, vigilancia activa en la zona para evitar la degradación y la contaminación del área y estrategias de educación con el fin de concientizar a la comunidad sobre la importancia de proteger estos ecosistemas.

Productividad en los ecosistemas

La productividad en un ecosistema ya sea neta o bruta se refiere a la energía o biomasa producida por unidad de área y unidad de tiempo y se expresa comúnmente como (Kg/ha/yr). La productividad primaria se refiere a la cantidad de materia orgánica producida mediante fotosíntesis, acumulada y utilizada en un ecosistema (Montagnini & Jordan, 2002). Toda la energía que es asimilada durante la fotosíntesis se conoce como producción primaria bruta (GPP). Como todo ser vivo, las plantas requieren energía para mantener las funciones básicas de la vida. La energía para estas necesidades es provista por la oxidación de compuestos orgánicos o respiración. El remanente de energía que queda luego de la respiración se conoce como productividad primaria neta (NPP). Para fines de manejo, la productividad primaria en ecosistemas terrestres es sumamente importante para el mantenimiento de sus funciones y para la restauración de los mismos. En cuanto al desarrollo de proyectos de restauración, uno de los objetivos primordiales es el conservar y maximizar la NPP ya que de esta depende la producción de biomasa y el reciclaje de nutrientes, los cuales son esenciales para el re-establecimiento de las funciones ecológicas de cualquier sistema degradado (Montagnini & Jordan, 2002). La productividad primaria se puede estimar a base de la producción de biomasa vegetal el cual es un elemento fundamental para el reciclaje de nutrientes. Esta biomasa representa la principal reserva de nutrientes para un área en particular al igual que la disponibilidad de nutrientes en los suelos (Lugo, 1998). Se

conoce que la productividad en un ecosistema está controlada por una serie de factores ambientales los cuales influyen en las tasas de productividad primaria. Algunos de estos factores son: la disponibilidad de agua, la luz solar, la temperatura, la humedad y la disponibilidad de nutrientes, entre otros (Murphy & Lugo, 1995).

Reciclaje de nutrientes:

El aporte, almacenaje y reciclaje de nutrientes es un proceso ecológico íntimamente relacionado a la productividad en un ecosistema y su capacidad para proveer los elementos esenciales (nutrientes) que mantienen el funcionamiento de los mismos (Lugo, 1999). El movimiento de nutrientes a través del ecosistema es lo que se denomina como reciclaje y flujo de nutrientes (Motagnini & Jordan, 2002; Lugo, 1998). Sobre este aspecto, cabe resaltar, que muchos de los estudios sobre descomposición de hojarasca se han enfocado en utilizar este proceso para conocer el aporte de nutrientes y la forma en como los mismos se re-distribuyen en el ecosistema. Para entender el reciclaje de nutrientes se necesita determinar las principales fuentes de aportación de nutrientes y almacenamiento de los mismos, en el que también se indican las ganancias y pérdida de nutrientes que pueden ocurrir ya sea por lixiviación o por pérdida del material vegetal (Montagnini & Jordan, 2002.; Grubb, 1995; Lugo et al., 1990). El reciclaje de nutrientes puede variar de un ecosistema a otro y el mismo está influenciado por factores endógenos como las características químicas de la hojarasca y por factores exógenos como las condiciones ambientales del sistema (factores químicos y físicos), clima, disturbios naturales y disturbios antropogénicos, entre otros (Read & Lawrence, 2006; Pérez-Salicrup, 2004).

Se conoce que el reciclaje de nutrientes en humedales está fuertemente influenciado por el agua y por los hidroperiodos lo cual es un aspecto muy particular al estudiar este tipo de ecosistema (Lugo, 1998; Lugo et al., 1990). Por lo tanto, para

humedales, se establece que el agua es un factor que se debe considerar en cuanto al reciclaje de nutrientes debido a la acción reguladora que esta produce en cuanto a la descomposición de la hojarasca y en cuanto al movimiento y aporte de nutrientes hacia el suelo (Lugo et al., 1990). Según, Popper et al. (1999) y Lugo (1999) existe una variedad de metodologías que se pueden aplicar para obtener información sobre el aporte de nutrientes mediante la hojarasca producida. El objetivo de estas metodologías es convertir los datos de biomasa vegetal a datos de mineralomasa (Lugo, 1999). Para hacer la conversión de biomasa a mineralomasa, se necesita un estimado de la concentración de nutrientes mediante el peso seco de la hojarasca recolectada. Esta información nos brinda una idea de cómo se comporta una especie en cuanto al uso de sus nutrientes para la producción de biomasa vegetal ante suelos con una alta fertilidad y suelos con una baja fertilidad (Lugo, 1998).

En este sentido cabe resaltar que la producción y descomposición de hojarasca es un proceso básico en el reciclaje de nutrientes en ecosistemas terrestres (Sjögersten & Wookey, 2004). Muchos de los ciclos de nutrientes, como el de nitrógeno, fósforo y potasio se estudian a base del análisis químico de la producción y descomposición de la hojarasca. Según Lugo, (1998) la producción y descomposición de hojarasca es parte esencial de la productividad primaria, la cual para fines de manejo, es necesario entenderla. En este aspecto cabe señalar que el movimiento de nutrientes en el ecosistema y el reciclaje interno, a nivel de especie, son factores que determinan la producción de hojarasca lo cual repercute en las tasas de productividad primaria (Montagnini & Jordan, 2002; Lugo, 1998). Tanto la producción de hojarasca como su descomposición figuran entre los procesos de transferencia de nutrientes más estudiados debido al papel tan importante que juegan como fuente inmediata de aporte de nutrientes en ecosistemas forestales (Grubb,1995). Los estudios sobre descomposición de hojarasca, establecen que este proceso está fuertemente

influenciado y controlado por factores intrínsecos como lo son los parámetros químicos y físicos presentes en la hojarasca y por factores extrínsecos como la temperatura, precipitación, humedad y estructura del suelo (Peng & Liu, 2002; 2005).

Nutrientes en los ecosistemas

Los nutrientes están definidos como elementos químicos esenciales para el crecimiento y desarrollo de un organismo. En términos generales, nos referimos a aquellos elementos minerales que son importantes para el crecimiento de las plantas como lo son N, P, los cationes Ca, K, Mg y algunos micronutrientes como: Fe, Mn, Co, Zn (Montagnini & Jordan, 2002). Los macronutrientes: nitrógeno, fósforo y potasio, tienen una proporción en la composición de la planta en el orden 1-2%, 0.1-1% y 0.5-1% del peso seco de la biomasa respectivamente, aunque en algunas plantas estos contenidos pueden ser muy superiores. En términos de hojarasca, se ha encontrado una relación química aproximada de C:N:P de 500:10:0.6 (Tiessen et al.,1998). El nitrógeno y el fósforo inorgánico son los nutrientes más importantes que son removidos, acumulados y transformados por procesos químicos en los humedales. En el caso del nitrógeno las bacterias nitrificantes fijan el nitrógeno atmosférico en nitritos o nitratos, que las plantas absorben del suelo a través del sistema radicular. El nitrógeno es vital para la formación de proteínas, ácidos nucleicos, enzimas, coenzimas y para la formación de la clorofila. La falta de nitrógeno en las plantas puede causar insuficiencia de clorofila y por ende afectar la capacidad de la planta para realizar la fotosíntesis (Martínez, 2005; Tiessen et al.,1998).

Por otro lado 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). El potasio, forma tallos fuertes y plantas

resistentes a enfermedades y plagas. Este elemento es aportado a los suelos por procesos de sedimentación y meteorización de las rocas. A base de diversos análisis químicos se ha podido conocer que la disponibilidad de P y K es limitada en los suelos de la mayoría de los ecosistemas terrestres debido a su rápida oxidación, lo que provoca que los mismos se pierdan con gran facilidad en el sistema (Campo et al., 2001). Este hecho hace que la mayoría de las plantas tengan que activar mecanismos de conservación y re-utilización de nutrientes al no poder depender directamente de una fuente continua de nutrientes, *nutrients pools* (Lugo,1998; Silver, 1994; Aerts,1996, Knops et al., 1997). En la mayoría de los sistemas de bosques, la hojarasca, es el principal vehículo de movimiento de nutrientes desde la vegetación hacia los suelos (Vitousek, 1982). Por tal razón los nutrientes N, P y K son fuertemente estudiados debido a que estos elementos controlan y limitan el crecimiento vegetal en la mayoría de los ecosistemas terrestres (Vitousek 1982; Bridham et al., 1995, Aerts, 1996; Pérez et al., 2003)

Retranslocación y eficiencia en el uso de nutrientes (EUN)

La EUN se refiere a la producción de biomasa por unidad de nutriente absorbido el cual es conocido como uno de los principales mecanismos de protección de nutrientes que poseen las plantas en ecosistemas terrestres (Vitousek,1982; Montagnini et al., 2000). Muchas plantas solo usan una parte de los nutrientes absorbidos para generar biomasa como una forma fisiológica de conservar elementos en sistemas donde los nutrientes esenciales para su crecimiento y desarrollo son limitados o escasos (Lugo, 1998; Montagnini & Jordan, 2002). Por tal razón este parámetro puede ser de gran importancia para conocer como las especies responden a las condiciones existentes y como las mismas pueden modificar dichas condiciones al generar biomasa vegetal que luego es convertida en hojarasca, principal vehículo para el movimiento de

nutrientes, los cuales son reciclados en el ecosistema para el mantenimiento de sus ciclos y de su productividad (Lugo, 1998). Según, Martin et al., (1996) la EUN típicamente es definida como la cantidad de materia orgánica desprendida por la planta (como hojarasca), más la almacenada de forma permanente dentro de la misma, dividida por la cantidad de nutrientes perdidos. En este enfoque, Vitousek (1982), calculó la relación entre el peso seco de la hojarasca y la cantidad de nutrientes contenida en ella, expresada en masa, como una forma de definir la EUN. Para esto relacionó el contenido de nutrientes en la hojarasca como variable independiente vs. la razón del peso seco de la hojarasca en función del contenido de nutrientes en la hojarasca, (índice de EUN), como variable dependiente (Vitousek, 1982;1984; Silver, 1994; Lugo, 1998). Mientras más alto es el índice, más eficiente es la planta en el uso de nutrientes. Este índice ha sido aceptado y utilizado en múltiples estudios para conocer como las especies varían en cuanto a la EUN entre ecosistemas (estudios a nivel de ecosistemas) (Vitousek, 1982;1984; Vitousek & Sanford, 1986; Lugo et al., 1990; Lugo, 1998).

Al hablar de eficiencia hay que tomar en cuenta la reabsorción de nutrientes que ocurre entre los tejidos vegetales de una planta. Por tal razón otra forma de determinar la EUN, comúnmente utilizada para estudios a nivel de especies, es mediante el %RT durante la senescencia de las hojas, el cual es un estimado de la cantidad de nutrientes que son reabsorbidos por la planta justo antes de que la hoja se desprenda o caiga, (senescencia), expresado como la cantidad de nutrientes en el tejido foliar por unidad de peso foliar o área foliar (Lugo, 1998). Según Aerts (1996), la retranslocación nos indica la cantidad de nutrientes que son movilizados de hojas senescentes a otras partes del tejido vegetal antes de que la misma se desprenda del tejido vivo de la planta. La retranslocación, también denominada como *nutrient resorption efficiency* o *retranslocation efficiency* (Aerts,1996; Wright & Westoby, 2003; Killingbeck, 1996) es un

importante proceso fisiológico de retención de nutrientes que ocurre en la mayoría de las plantas terrestres. En este sentido tanto el N, P y K son nutrientes muy estudiados para fines de retranslocación ya que son comúnmente retirados de las hojas senescentes antes de que ocurra la abscisión los cuales son almacenados en el tejido vivo para la fase de crecimiento y producción de biomasa vegetal (Van Heerwaarden, Toet & Aerts, 2003). Este aspecto fisiológico hace que la planta sea menos dependiente de la absorción de nutrientes de los suelos, lo cual lo convierte en un mecanismo importante para plantas que se desarrollan en suelos con una baja fertilidad. (Van Heerwaarden et al., 2003). El %RT se obtiene comúnmente mediante la razón entre el contenido total de nutrientes en hojas senescentes y el contenido total de nutrientes en hojas maduras (Allison & Vitousek, 2004; Pérez et al., 2003; Lin & da Silveira Lobo Sternberg, 2007; Van Heerwaarden et al., 2003).

$$\%RT = \left[1 - \frac{(\text{concentración de nutrientes en hojas senescentes})}{(\text{concentración de nutrientes en hojas maduras})} \right] \times 100$$

El %RT es un estimado directo de la EUN en donde a mayor %RT coincide con un alto índice de EUN propuesto por Vitousek en el 1982. Varios estudios sobre retranslocación de nutrientes relacionan dicho parámetro con el área foliar específica (AFE) como una forma de diferenciar la estructura de las hojas maduras entre especies y de relacionar el contenido de materia orgánica en términos de la concentración de nutrientes en el tejido foliar (Allison & Vitousek 2004; Vera, Cavalier & Santamaría, 1999; Pérez Amaro et al. 2004). Según, Vera, Cavalier & Santamaría (1999) en hojas escleromórficas, las cuales por lo general son gruesas y con baja concentración de nutrientes por unidad de peso seco, poseen valores bajos de área foliar específica (cm^2/g), mientras que en hojas mesófilas, las cuales son relativamente delgadas y con concentraciones mayores de nutrientes foliares por unidad de peso seco, poseen

mayores valores de AFE. Si el escleromorfismo está asociado a condiciones de baja fertilidad en los suelos, la reabsorción de nutrientes en estas especies debería ser más eficiente que en especies mesófilas. Por lo tanto especies que poseen valores bajo de AFE y de contenido de nutrientes en hojas maduras deberán ser más eficientes en cuanto a la reabsorción de nutrientes. De esta forma el AFE se puede correlacionar con la reabsorción de nutrientes en hojas maduras o con el contenido de nutrientes en hojas maduras en especial de fósforo y nitrógeno. En el estudio de Pérez Amaro et al. (2004) se correlacionó el contenido de nitrógeno foliar con el AFE en donde a mayor contenido de N foliar coincide con valores altos de AFE. Estos patrones no se generalizan y dependen de la especie que se trate y del ecosistema en donde se encuentra dicha especie. Por otro lado y como nos menciona Lugo (1998) el AFE también es utilizado para estimar el %RT al relacionar el contenido de nutrientes en hojas maduras y hojas senescentes con el AFE. Por lo tanto el AFE es un parámetro que se puede relacionar con aspectos de retraslado de nutrientes y EUN.

Como hemos establecido, varios estudios relacionan la fertilidad de los suelos con la EUN. Según, Vera, Cavalier & Santamaría (1999) la baja fertilidad de los suelos en ecosistemas de bosque se ve reflejada en una baja concentración de nutrientes foliares como los son el N, P y K y una alta eficiencia de uso de estos nutrientes. Para este tipo de escenario, mecanismos de conservación de nutrientes como la reabsorción de elementos foliares móviles (*i.e.* nitrógeno y fósforo) antes de la caída de las hojas tendrían un gran valor adaptativo y por ende repercute en un mayor éxito de la especie ante ambientes con una baja disponibilidad de nutrientes. Estudios previos, evaluando el NUE en diversas especies arbóreas, han encontrado que en suelos con una baja disponibilidad de nutrientes, las plantas tienden a poseer un alto índice de EUN y mayor %RT como respuesta fisiológica a las condiciones ambientales presentes en el sistema (Montagnini et al., 2000; Silver; 1994; Bridham et al., 1995; Knops et al., 1997; Saur et

al., 2000; Aerts, 1996; Escudero et al., 1992). Por tal razón el evaluar la EUN en especies arbóreas, nos puede brindar una idea de cómo las mismas están respondiendo ecofisiológicamente al sistema y el éxito que ha logrado tener en cuanto al aporte de nutrientes, la producción de biomasa y la productividad primaria (Cuevas & Lugo, 1998). Por otra parte la EUN nos puede brindar información relevante sobre las condiciones ambientales que imperan en el ecosistema en términos del reciclaje de nutrientes, la disponibilidad de nutrientes y la fertilidad de los suelos debido a que como mencionan varios estudios, existe relación entre la disponibilidad de nutrientes en los suelos y la EUN (Knops et al., 1997; Bridham et al., 1995; Silver, 1994; Saur et al., 2000).

Según Lugo, (1998) al estudiar humedales, las variaciones en la concentración de nutrientes en la hojarasca y por ende en hojas senescentes puede ser utilizada como un indicador de la EUN. En este sentido se ha encontrado que las concentraciones de nutrientes en las hojas senescentes de una misma especie pueden variar como respuesta ecofisiológica a las condiciones ambientales que imperan en estos sistemas. Factores como: el tipo de suelo, la disponibilidad de nutrientes en el suelo, clima, influencia del agua, tipo de especie y la degradación e impactos que presenta un ecosistema pueden determinar la eficiencia en el uso de nutrientes que puede exhibir una especie arbórea en particular (Montagnini & Jordan, 2002; Galicia et al., 2002; Lugo, 1998; Silver, 1994). Sobre estos factores, al estudiar especies de mangle, varios estudios sobre EUN han indicado que cuando estos sistemas se encuentran bajo condiciones extremas de salinidad e intercambio de agua, las tasas de EUN aumentan como una forma de conservar sus nutrientes (Lugo, 1998; Lugo et al, 1990). En este aspecto se ha encontrado que bosques de mangles en humedales costeros y expuestos a cambios continuos en los hidroperiodos y en la salinidad son más eficientes en el uso de nutrientes que en humedales con pocas fluctuaciones ambientales (Lugo et al. 1990;

Lugo, 1998). Para fines de manejo, una planta es considerada más eficiente cuando la misma, con menos demanda de nutrientes, puede producir mayor biomasa vegetal (Lugo, 1998). Este hecho propone el que la EUN estimada a través del %RT puede servir como una herramienta útil al momento de decidir sobre el potencial que puede tener una especie en su aporte al reciclaje de nutrientes lo cual dependerá en como la misma hace uso de los nutrientes presentes en el ecosistema. La retranslocación y la EUN son dos aspectos del funcionamiento de los ecosistemas forestales estrechamente ligados entre sí, siendo empleada la primera como indicadora de la EUN (León Peláez, González Hernández & Gallardo Lancho, 2009).

Estudios de Casos

Litterfall dynamics and nitrogen use efficiency in two evergreen temperate rainforests of southern Chile

En este estudio, Pérez et al. (2003) compararon dos tipos de bosques que crecen bajo las mismas condiciones ambientales los cuales difieren grandemente en su estructura florística y en la estructura del dosel como un indicador de la productividad presente en ambos sistemas. En este estudio se establece que en regiones poco contaminadas y con poca entrada de nitrógeno inorgánico la dinámica de la hojarasca y la eficiencia en el uso del nitrógeno en especies arbóreas se acopla al ciclo interno de N presente en el ecosistema. En este caso los autores evaluaron la biomasa vegetal, el flujo de N y la razón de C/N de la hojarasca para conocer cuan eficiente son estas especies en cuanto al uso del nitrógeno. El enfoque en el nitrógeno, consiste en la importancia que tiene este elemento para la producción primaria. Para esto se estimó el % de retranslocación de nitrógeno mediante $\%RT = (\%N \text{ leaves} - \%N \text{ litterfall}) / \%N \text{ leaves} \times 100$. En cuanto a los hallazgos más importantes se encontró que en ambos bosques hay una baja mineralización de N en los suelos y un alto índice de NUE para el

nitrógeno. Los investigadores establecen que el crecimiento y estructura forestal que exhiben ambos bosques es una consecuencia directa del pobre flujo de nitrógeno al suelo y de la alta eficiencia en el uso del mismo por parte de la vegetación. Los resultados encontrados en este estudio evidencian un mecanismo de retroalimentación positiva el cual controla el reciclaje interno, en este caso de nitrógeno, en el ecosistema. De acuerdo con la hipótesis expuesta, el bajo flujo de N de las hojas maduras y la alta razón de C/N en la hojarasca es una consecuencia directa de la baja mineralización de nitrógeno en el suelo lo cual provoca una mayor eficiencia en el reciclaje interno de nitrógeno por parte de las especies arbóreas estudiadas en ambos sistemas forestales. Por lo tanto este estudio resalta un patrón en cuanto a la eficiencia en el uso de nutrientes, en donde ante suelos con una baja mineralización de nitrógeno, lo que se traduce a una baja disponibilidad de nitrógeno, mayor es la eficiencia en el uso de nutrientes presentada por las especies arbóreas.

Nutrient cycling and nutrient use efficiency in agroforestry systems

En este caso, Montagnini et al. (2000) examinaron datos de productividad y caída de hojarasca (litterfall), incluyendo su composición química, para calcular la eficiencia en el uso de los nutrientes N, K, P, Ca y Mg en doce especies de árboles nativos bajo condiciones iguales de plantación en dos sistemas agroforestales. En el estudio se realizó una comparación entre 8 especies arbóreas en Bahía (Brasil) y 4 especies arbóreas en la Estación Biológica La Selva (Costa Rica) con el fin de conocer si existen diferencias significativas en las tasas de NUE entre las especies en ambos sistemas agroforestales. Los resultados obtenidos en Bahía demostraron que en varias especies como: *Bombax macrophyllum* y *Plathymenia foliolosa* se obtuvieron valores significativos en las tasas de NUE para N, Mg, K y P los cuales crecían en suelos relativamente pobres en dichos nutrientes. Por otro lado, en la Estación Biológica La

Selva, también se observó el mismo patrón con valores de NUE significativamente alto para los mismos nutrientes en la mayoría de las especies estudiadas. Según los autores, estos resultados demuestran una tendencia por parte de las especies estudiadas a ser más eficiente en el uso de los nutrientes, de los cuales el sistema posee una baja disponibilidad. Por lo tanto los autores concluyen que una alta eficiencia para un nutriente en particular puede ser un indicativo de una baja disponibilidad de dicho nutriente en los suelos. Según los autores este hecho pone de manifiesto el que especies, como las estudiadas en este caso, puedan representar una alternativa viable para reforestar áreas degradadas en las que se busca incrementar el contenido de materia orgánica en suelos con una baja fertilidad.

Dynamics of organic matter and nutrient return from litterfall in stands of ten tropical plantation species

En este caso, Cuevas & Lugo (1998) examinaron el flujo de nutrientes en la hojarasca de 10 especies de árboles, en plantaciones de 26 años con suelos bajo las mismas condiciones de tratamiento. Los autores encontraron que todas las especies diferían en cuanto a su capacidad para generar y retornar biomasa y nutrientes al suelo, al poseer diferencias en cuanto a su eficiencia en el uso de los nutrientes N, P y algunos cationes. Se encontró que las especies que retornaban la mayor cantidad de biomasa al suelo no retornaban la mayor cantidad de P, N o cationes al suelo y esa diferencia estaba relacionada con la cantidad de N y P que era reabsorbida por la planta antes de la caída de la hoja. Ante este hecho los autores concluyeron que las diferencias observadas en cuanto al aporte de nutrientes al suelo, es un reflejo de las distintas respuestas ecofisiológicas que exhibe cada especie en un sistema, por lo que es de suma importancia conocer más sobre su comportamiento en lo que respecta al uso eficiente de los nutrientes antes de ser empleadas en plantaciones o en la rehabilitación

de un área degradada. Este estudio subraya la importancia de conocer cuál puede ser el impacto de una especie arbórea en la fertilidad del suelo y por ende en su potencial para ser utilizada en la rehabilitación de un área degradada.

Crop productivity and nutrient use efficiency as affected by long-term fertilization in North China Plain

Aunque los casos antes expuestos presentan una relación entre suelos pobres en nutrientes vs. un alto índice de NUE, este caso, Wang et al. (2010) presentan todo lo contrario como una forma de confirmar el patrón y la relación que existe entre la disponibilidad de nutrientes en los suelos y la eficiencia en el uso de nutrientes. Según los autores los “inputs” de nutrientes en sistemas agrícolas por fertilizantes provocan una disminución en la eficiencia en el uso de los nutrientes en la cosecha. Según el estudio, datos de hace 15 años sobre la dinámica de N, P y K en suelos y bajo diversos tratamientos de fertilizantes se han evaluado para conocer el aporte de estos fertilizantes en cuanto a la acumulación de nutrientes, disponibilidad de nutrientes y la eficiencia en el uso de nutrientes que exhiben las cosechas. Según el estudio se ha demostrado que tanto el N como el P tienden a ser nutrientes limitantes en los suelos lo cual afecta directamente el crecimiento de la cosecha por lo que se requiere el uso de diversos fertilizantes para optimizar la disponibilidad de estos nutrientes en los suelos. En cuanto a los hallazgos, se encontró que al aplicar fertilizantes no combinados como N, P y K, estos aumentaban la concentración de estos nutrientes en el suelo lo que se traducía en una baja eficiencia en el uso de nutrientes provocando una disminución significativa en la producción de biomasa (cosecha).

Por otro lado al hacer uso de fertilizantes combinados como NP o NPK condujo a un aumento significativo en la producción de biomasa y a la eficiencia en el uso de nutrientes debido a que la acumulación de nutrientes esenciales en el suelo era más

equilibrado y balanceado. Los autores establecieron que para fines agrícolas, al momento de aplicar tratamientos con fertilizantes, se debe conocer en primera instancia la demanda existente para no acumular nutrientes específicos en los suelos que redunden en un bajo índice de eficiencia en el uso de nutrientes.

Spatial pattern and scale of leaf N and P resorption efficiency and proficiency in a *Quercus robur* population

En este estudio, Covelo et al. (2008) exponen varios factores que pueden ejercer una gran influencia sobre distintos mecanismos de conservación de nutrientes que las plantas activan, en este caso evaluando poblaciones de *Quercus robur* (pedunculate oak), en ecosistemas cuyos patrones de disponibilidad de nutrientes son heterogéneos. En el estudio se establece que la eficiencia en la reabsorción de nutrientes en sus hojas es un mecanismo de conservación de nutrientes que muchas especies activan para mantener la eficiencia en el uso de nutrientes y para disminuir la dependencia de la planta de los recursos que se pueden encontrar en suelos con una baja fertilidad y alterados por distintos disturbios ambientales. En el estudio, se expone que la eficiencia en la reabsorción de nutrientes en las hojas maduras ejerce una gran influencia en el contenido de nutrientes que se puede encontrar en la hojarasca lo cual determina su descomposición y la aportación de nutrientes al suelo. Se establece que factores como la disponibilidad de agua, disponibilidad de nutrientes en suelos y la heterogeneidad espacial influyen en gran medida en la capacidad de reabsorción de nutrientes, la eficiencia en el uso de nutrientes y la dependencia de estas especies a los recursos disponibles en el sistema. Al evaluar la eficiencia en la reabsorción de los nutrientes N y P mediante el % de nutriente reabsorbido, relativo a la cantidad máxima de nutriente presente en la hoja viva, encontraron una baja reabsorción de N y una mayor reabsorción de P en la totalidad de las plantas evaluadas. Al observar dicho patrón, los

autores encuentran una baja distribución espacial de N pero no así para P. Este hecho expone que estas plantas no pueden ser consideradas independientes de los recursos disponibles en el sistema debido a que las mismas muestran una gran dependencia de la poca distribución de N lo cual trae como consecuencia una baja producción de hojarasca.

Marco legal

Leyes Estatales

Constitución del Estado Libre Asociado de Puerto Rico

En el artículo VI, sección 19, se 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.

Ley Núm. 416 del 22 de septiembre de 2004-Ley sobre Política Pública Ambiental del Estado Libre Asociado de Puerto Rico

Esta ley enmienda la Ley Num. 9 del 18 de julio de 1970 la cual crea y le da autoridad a la Junta de Calidad Ambiental (JCA) el poder de adoptar, promulgar, enmendar y derogar reglamentos para la protección del medio ambiente en Puerto Rico. Esta ley entró en vigor el 22 de marzo de 2005. La JCA es el organismo encargado de ejercer controles sobre la contaminación, la degradación ambiental y la protección del aire, las aguas y los suelos.

Ley 23 del 20 de junio de 1972, según enmendada- Ley Orgánica del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico

Esta ley crea el DRNA y lo responsabiliza de la planificación, protección y manejo de todos los recursos naturales en Puerto Rico. Las enmiendas a esta ley han incluido la protección de los humedales en la enmienda producida por la Ley num. 31 del 14 de enero de 2000.

Ley 133 del 1 de junio de 1975, según enmendada-Ley de Bosques de Puerto Rico

Esta ley establece la política pública forestal dentro del Estado Libre Asociado de Puerto Rico, la cual va dirigida al mantenimiento, conservación, protección y expansión de los bosques públicos y a estimular la iniciativa privada hacia los mismos fines. De tal manera, se intenta lograr el pleno aprovechamiento de nuestros recursos forestales por esta y futuras generaciones. Los bosques de mangles, 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.

Ley Num. 24 de junio de 1975-Ley Orgánica de la Junta de Planificación de Puerto Rico

Crea la (JPA) la cual estará a cargo de guiar el desarrollo integral de Puerto Rico de modo coordinado, adecuado, económico, el cual este de acuerdo con las actuales y futuras necesidades, los recursos humanos, ambientales, físicos, económicos. 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.

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.

Ley Num. 314 del 24 de diciembre de 1998- Ley para declarar la política pública sobre humedales de P.R.

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.

Ley Núm. 241 del 15 de agosto de 1999- Nueva Ley de Vida Silvestre de Puerto Rico

Ley que se crea con el fin de proteger 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 sobre la vida silvestre. Además, esta ley establece una prohibición de modificación de aquellos hábitats críticos esenciales de especies que son catalogadas como vulnerables o en peligro de extinción.

Ley Núm. 150 del 4 de agosto de 1988-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 le 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.

Ley Num. 10 del 19 de enero de 1995- Ley para el fomento de la reducción de los desperdicios peligrosos en Puerto Rico

Esta ley se crea con el propósito de reducir la producción de desperdicios peligrosos en su lugar de origen. La reutilización de los mismos para emplearlos como ingredientes en un proceso industrial, ya sea para manufacturar un producto, utilizarlos en una función particular o como sustituto efectivo para un producto comercial. También para promover el reciclar los desperdicios en el lugar de origen y si no fuera posible, en otro lugar que se determine adecuado y seguro. Tratar los desperdicios peligrosos para reducir su volumen y toxicidad. Almacenar los desperdicios peligrosos de forma apropiada. Disponer de los sobrantes de los desperdicios peligrosos en forma segura para evitar una filtración que pueda afectar la salud y el ambiente.

Reglamentos estatales

Reglamento DRNA-6766- Reglamento para regir especies vulnerables y en peligro de extinción en el Estado Libre Asociado de Puerto Rico

Los propósitos de este reglamento son identificar, conservar y preservar las especies vulnerables y en peligro de extinción. Propiciar la propagación y supervivencia de especies vulnerables o en peligro de extinción. Identificar y promover la conservación de los hábitats naturales críticos y los hábitats naturales críticos esenciales. Reglamentar la importación y exportación de especies vulnerables o en peligro de extinción. Adoptar criterios de designación utilizados por la comunidad científica internacional para especies cuya tendencia poblacional podría llegar a estar en peligro crítico e incluso extinguirse en un periodo de tiempo muy breve.

Reglamento DRNA-6765- Reglamento para regir la conservación y manejo de la vida silvestre, especies exóticas y la caza en el Estado Libre Asociado de Puerto Rico
Este reglamento promueve la protección, conservación y manejo de las especies de vida silvestre. Establece mecanismos para la mitigación de modificación de hábitat natural. Reglamenta con mayor rigor el otorgamiento de licencias de caza, la inscripción de armas de caza y la revocación y suspensión de las mismas por infracciones expuestas en la ley y en este reglamento. Regula la introducción de especies exóticas a Puerto Rico. También regular todas las actividades relacionadas con los recursos de vida silvestre.

Reglamento DRNA-4860, según enmendado- Reglamento para el aprovechamiento, vigilancia, conservación y administración de las aguas territoriales, los terrenos sumergidos bajo estas y la zona marítimo terrestre

Este reglamento es promulgado bajo el legado del derecho romano y medieval transferido a P.R. por los españoles como parte de su normativa portuaria. Este reglamento tiene como objetivo establecer los criterios y mecanismos para la delimitación, vigilancia, conservación y saneamiento de las aguas territoriales y los terrenos sumergidos bajo ellas. También establece los criterios y mecanismos para la otorgación de autorizaciones y concesiones para el uso y aprovechamiento de estas áreas.

Reglamento JCA-7837-Reglamento de Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico.

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.

Reglamento para el manejo de desperdicios sólidos no peligrosos (JCA,1997)

El propósito es establecer requisitos para el manejo, almacenamiento, transportación, procesamiento y disposición de los desperdicios sólidos no peligrosos y

para la administración y el seguimiento de las actividades relacionadas con las instalaciones de desperdicios sólidos no peligrosos.

Leyes Federales

The National Environmental Policy Act de 1969- (NEPA)

Esta pieza legal establece la política pública ambiental federal en la que se dispone la introducción de las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) antes de tomar una acción federal, el fortalecimiento de la Agencia de Protección Ambiental “Environmental Protection Agency” (con un rol administrativo de control) y crea el Concilio de Calidad Ambiental “Council on Environmental Quality” como receptoría de las EIA y de las DIA.

Ley Federal de Agua Limpia de 1970- (CWA, por sus siglas en inglés)

El Clean Water Act fue establecido 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.

Coastal Zone Management Act de 1972

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.

Endangered Species Act de 1973

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.

Emergency Wetlands Resources Act de 1986

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. 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

Para determinar la eficiencia en el uso de los nutrientes (EUN) N, P y K mediante la retranslocación (%RT) en *Pterocarpus officinalis* y *Annona glabra* entre áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación (secas) con el fin de evaluar el desempeño fisiológico de estas especies y ofrecer recomendaciones de manejo efectivas, se expone la siguiente metodología con la que determinaremos si existe alguna diferencia en la retranslocación (%RT) de N, P y K entre estas especies en función del factor de inundación.

Área de estudio

La Ciénaga Las Cucharillas está localizada cerca de la latitud 18°26'39N y la longitud 66°8'27O en el municipio de Cataño, dentro de la zona metropolitana de San Juan, Puerto Rico (Figura 1). La misma cuenta con alrededor de 1,236 acres de terrenos y está clasificada como un humedal de tipo estuarino palustrino según el USEPA, National Wetlands Inventory Maps. La geología de esta zona, según los mapas geológicos de la USGS para la zona de Cataño, está caracterizada principalmente por formaciones calizas y por depósitos aluviales ribereños. En este humedal, de tipo estuarino palustrino, encontramos la influencia de agua dulce proveniente de los tributarios del Río Bayamón en el que predominan especies arbóreas que forman humedales boscosos, arbustos, gramíneas y plantas herbáceas con desarrollo persistente (Mitsch & Gosselink, 2000).

El estudio fue desarrollado en la zona del antiguo cauce del Río Bayamón donde se encuentran las áreas mitigadas equivalentes a 3 acres de terrenos (Figura 1 y Figura

2). Para fines del estudio, la zona equivalente a 1 acre de terreno y mitigada por la compañía Ambiental, la denominamos como (Mitigación Bacardí) y la zona equivalente 2 acres de terrenos y realizada por la compañía Reforesta, la denominamos como (Mitigación Flexitank). Para establecer el análisis en función del factor de inundación, agrupamos los individuos entre áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación (secas) las cuales identificamos respectivamente en el área de estudio (Figura 2).

Descripción de las especies arbóreas

Las especies arbóreas que utilizamos para este estudio fueron *Pterocarpus officinalis* y *Annona glabra* por ser las más dominantes y abundantes en las áreas mitigadas de la Ciénaga Las Cucharillas. *Pterocarpus officinalis*, conocido comúnmente como palo de pollo, pertenece a la familia de las Leguminosas (Little et al., 1988; Little & Wadsworth, 1995). Es un árbol siempre verde que puede alcanzar hasta unos 20m de altura (Apéndice 1). Se distribuye típicamente entre las latitudes 20 °N y 20 °S por lo que es una especie nativa de las zonas tropicales. Los individuos de esta especie se pueden encontrar en bosques de pantano y en los márgenes de ríos. Los miembros de esta especie se reconocen fácilmente por poseer raíces basales en forma de planchas angostas que se extienden desde el tronco (Little et al., 1988; Little & Wadsworth, 1995). Es un árbol que produce flores y vainas aladas, planas e irregularmente redondas (Eusse & Aide, 1999). Se conoce que en la zona del Caribe es una especie arbórea muy común de humedales de agua dulce. La misma, tiene la capacidad de desarrollarse en humedales costeros e interiores y son muy resistentes a cambios en la salinidad (Medina et al., 2007).

Pterocarpus officinalis crece típicamente en asociación con *Annona glabra* la cual es conocida comúnmente como cayur, corazón cimarrón, anón de pantano o

guanábana de pantano (Little et al., 1988). Esta especie pertenece a la familia de las Anonáceas las cuales se distinguen generalmente por ser arbustos pequeños a medianos con flores y frutos pendulados y hasta comestibles (Apéndice 2). Posee una amplia distribución geográfica y es nativa de la América tropical. Los individuos de esta especie están adaptados a zonas típicamente inundadas debido a que su mayor resistencia al agua se encuentra en sus raíces y por el desarrollo de aerenquima en sus tejidos (Zotz, Tyree & Patiño, 1997). Esta especie arbórea es poco común en los pantanos costaneros y típicamente se encuentran en zonas de humedal localizados detrás de los bosques de mangles o a lo largo de las riberas en zonas bajo la influencia de agua dulce. Sus flores generalmente son de color blanco y frutos ovalados de color amarillo pálido. Tanto las frutas como sus semillas pueden flotar en el agua lo que permite su adaptación y sobrevivencia en sistemas que puedan estar constantemente inundados (Little et al., 1988).

Muestreo y periodo de estudio

Para obtener las muestras del material foliar seleccionamos 5 individuos de cada una de las especies bajo estudio en áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación (secas) en la zona mitigada de Cucharillas, para un total de 20 individuos (Figura 2) y (Tabla 1). El adjetivo “secas” fue utilizado en varias tablas y figuras para denominar el área que identificamos como menos expuestas a inundación. Los individuos muestreados los identificamos por especie, número de individuo y área mitigada los cuales fueron agrupados entre áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación (Tabla 1) y (Figura 2). De cada individuo recolectamos 5 hojas maduras (Apéndices 3 y 6) en distintos puntos cerca del dosel y 5 hojas senescentes (Apéndice 3 y 5) (Pérez et al., 2003; Vann et al., 2002). Las hojas senescentes, por lo general, son fáciles de identificar por cambios en su coloración y por peciolo más contraídos

(Apéndices 4 y 5) (Wright & Westoby, 2003). Las muestras se almacenaron en bolsas plásticas las cuales identificamos por fecha de colecta, individuo, especie y área mitigada. Realizamos el muestreo mensualmente desde noviembre 2010 hasta marzo 2011. Durante estos meses presentamos datos climáticos de precipitación anual para el área de Cataño con el fin de establecer la variación en los %RT de N, P y K en función de la estacionalidad ambiental (Figura 6).

Determinación del área foliar específica (AFE) en hojas maduras y hojas senescentes de las especies *Pterocarpus officinalis* y *Annona glabra*

Por cada mes de colecta obtuvimos el área foliar (cm^2) de las hojas maduras de las especies bajo estudio en las áreas mitigadas. Para esto, utilizamos un medidor de área foliar modelo LI-CoR-3100. Para cada hoja muestreada determinamos su peso seco (g) para de esta forma calcular el AFE mediante la razón entre el área foliar y el peso seco (cm^2/g) (Pérez Amaro et. al., 2004). En el mes de marzo, específicamente, obtuvimos el AFE tanto de las hojas maduras como de las hojas senescentes para estimar el %RT de N, P y K corregido por AFE (Lugo, 1998).

Determinación de las concentraciones totales de N, P y K en hojas maduras y hojas senescentes en las especies *Pterocarpus officinalis* y *Annona glabra* en las áreas mitigadas.

Las muestras de hojas maduras y hojas senescentes recolectadas durante los meses del estudio las trasladamos al Laboratorio Agrológico del Departamento de Agricultura de P.R en Dorado las cuales se pesaron a 70°C hasta alcanzar peso constante (Lugo,1999) y se trituraron para ser sometidas a los análisis químicos correspondientes. Para los análisis químicos de tejido foliar se aplicó el método Kjeldahl para determinar el contenido total de N. El contenido total de P fue determinado mediante la aplicación de L-Ascorbic Acid + NH_4Mo + Antimony Potassium Tartrate y el

K fue extraído y determinado por el método de ceniza seca. Los resultados los presentamos como % de nutriente en el material foliar maduro y senescente (Apéndice 6).

Determinación de las concentraciones totales de N, P y K en los suelos donde se encuentran las especies *Pterocarpus officinalis* y *Annona glabra* en áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación.

Colectamos muestras de suelo a una profundidad aproximada de 30cm utilizando un barreno de acero inoxidable (Lugo,1999; Bridham et. al., 1995). Las mismas las obtuvimos de cinco puntos pre-determinados bajo los suelos donde se encuentran la mayoría de los individuos muestreados por especie en las áreas antes descritas, para un total de 10 muestras. Una vez colectadas, las trasladamos al Laboratorio Agrológico en Dorado, las cuales se secaron a 70°C (Lugo, 1999; Bridham et. al., 1995) y se determinó su pH con el suelo seco al aire. Las muestras fueron sometidas a los análisis químicos correspondientes para la determinación de las concentraciones totales de N, P y K. La concentración total de N se obtuvo mediante el método Kjeldahl. Para determinar el contenido total de P se aplicó el método Olsen, Bray II. Para determinar el contenido de K el mismo fue extraído aplicando acetato de amonio con pH=7 (Apéndice 8).

Evaluación de EUN en *Pterocarpus officinalis* y *Annona glabra* mediante el %RT (Allison & Vitousek, 2004; Pérez et al., 2003; Lugo, 1998).

Una vez determinamos el área foliar específica y las concentraciones totales de N, P y K tanto en hojas maduras como en las hojas senescentes aplicamos las siguientes ecuaciones para estimar el %RT de N, P y K en las especies arbóreas bajo estudio en las áreas mitigadas (Allison & Vitousek, 2004; Lugo, 1998; Lin & da Silveira Lobo Sternberg, 2007; Van Heerwaarden et al., 2003).

Ecuación 1

$$\%RT = \left[1 - \frac{\text{(concentración de nutrientes en hojas senescentes)}}{\text{(concentración de nutrientes en hojas maduras)}} \right] \times 100$$

Ecuación 2

$$\%RT = \left(\frac{\begin{array}{l} \text{(\% de nutrientes en hojas maduras / AFE hojas maduras)} \\ \text{(\% de nutrientes en hojas senescentes / AFE hojas senescentes)} \end{array}}{\text{(\% de nutrientes en hojas maduras / AFE hojas maduras)}} \right) \times 100$$

Los datos promedio del contenido total de N, P y K en hojas maduras y hojas senescentes, el AFE y el %RT de N, P y K se tabularon correspondientemente por mes de colecta y elaboramos gráficos por especies y por áreas muestreadas. También realizamos análisis estadísticos mediante la prueba ANOVA-factor simple ($\alpha \leq 0.05$) para establecer si existe diferencia significativa en los %RT de N, P y K entre áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación (secas) y el análisis del coeficiente de correlación *Pearson* ($\alpha \leq 0.05$) para determinar la relación entre los %RT de N, P y K y el contenido total de estos nutrientes en las hojas senescentes de las especies arbóreas bajo estudio con el fin de establecer las diferencias en los %RT entre especies.

Recomendaciones de manejo

Al analizar los resultados obtenidos establecimos recomendaciones de manejo efectivas para las mitigaciones desarrolladas en Cucharillas y para proyectos de mitigación en humedales. Los resultados de este estudio se compararon con estudios previos desarrollados en Cucharillas con las mismas especies arbóreas para establecer formas efectivas para el uso y manejo de estas especies en las áreas mitigadas y en humedales en los que se desean realizar proyectos de mitigación y de restauración.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Introducción

Los resultados que se presentan a continuación tienen como objetivo brindar información que pueda ser aplicada de forma efectiva a técnicas de manejo y de conservación en ecosistemas de humedales, en especial para las mitigaciones desarrolladas en La Ciénaga Las Cucharillas. Con esta información buscamos conocer como las especies arbóreas que se han empleado en este ecosistema han sido efectivas, desde un punto de vista fisiológico, con el fin de establecer recomendaciones de manejo dirigidas a desarrollar restauraciones más exitosas. En este capítulo presentamos el análisis de los resultados obtenidos sobre área foliar específica, contenido total de N, P y K en los suelos de las áreas mitigadas, contenido total de N, P y K en hojas maduras y hojas senescentes y el %RT de N, P y K en las especies arbóreas *Pterocarpus officinalis* y *Annona glabra* entre áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación.

Propiedades foliares

En términos de propiedades foliares, al evaluar los resultados de AFE, se pueden observar diferencias bien marcadas entre las especies arbóreas bajo estudio en ambas áreas mitigadas, siendo *Pterocarpus* la especie con los valores más alto de AFE ≥ 105.92 cm²/g, mientras que en las hojas de *Annona* se muestran valores de AFE ≤ 120.90 (Tablas 2-8). Según, Vera, Cavalier & Santamaría (1999) valores altos de AFE coinciden con estructuras foliares relativamente delgadas y con valores de concentración de nutrientes en hojas maduras mayores, en especial para N. Estos

hallazgos son consistentes con los resultados encontrados en nuestro estudio en donde al comparar las estructuras foliares entre ambas especies se puede observar que las hojas maduras de *Pterocarpus* son más finas y delgadas que las hojas maduras de *Annona* (Apéndice 6). También se encontró que las hojas maduras de *Pterocarpus* poseen valores promedio más alto de contenido de N ($\%N \geq 2.5\%$) al compararlas con *Annona* la cual presentó valores promedio más bajos de contenido de N ($\%N \leq 2.4$) en ambas áreas mitigadas (Tablas 2-8). Estos datos coinciden con el patrón encontrado en el %RT de N en donde *Annona* mostró valores más altos en comparación a *Pterocarpus* en ambas áreas mitigadas (Figura 11). Por lo tanto en términos de propiedades foliares se pudo observar diferencias marcadas en las estructuras foliares entre ambas especies.

Nutrientes en suelo

En cuanto a las concentraciones promedio de N, P y K en los suelos de las áreas mitigadas, se puede observar un patrón similar en las cantidades de estos nutrientes tanto en suelos de áreas inundables y en áreas menos expuestas a inundación. No se encontró diferencia significativa en las concentraciones para ninguno de los nutrientes entre los suelos muestreados con $P > 0.05$ según el análisis de ANOVA (Figura 3). Esta homogeneidad en las concentraciones de estos nutrientes también fue observada en el estudio de Torres (2010) en los suelos de las áreas mitigadas. Este hecho expone que el factor de inundación emerge como el aspecto más influyente en las características de estos suelos y por consiguiente en el desempeño fisiológico de las especies arbóreas. Como muestra la (Figura 3 y Tabla 11) al comparar las concentraciones promedio de estos nutrientes en los suelos, las mismas siguen el orden $N > K > P$. Por lo tanto podemos establecer que hay una mayor concentración de N en los suelos muestreados en comparación a las concentraciones de P y K los cuales están en

menor concentración (Figura 3). Estos resultados son consistente con lo expuesto en varios estudios como Montagnini & Jordan (2002) y Lugo et al. (1990) en el que se establece que tanto el P como el K son los nutrientes más limitados en la mayoría de los suelos de los ecosistemas terrestres debido a su rápida oxidación lo que provoca que los mismos se pierdan con gran facilidad en el sistema. En términos generales podemos establecer que las concentraciones de P y K son más bajas en comparación con N en los suelos tanto en áreas inundables y en áreas menos expuestas a inundación (secas). Este hecho coincide con valores altos de %RT para estos nutrientes (P y K) en comparación a los obtenidos para N, esto es consistente con lo expuesto en varios estudios en donde la eficiencia en el uso de nutrientes aumenta cuando se trata de elementos o nutrientes más limitados o poco disponibles en los suelos (Silver,1994; Bridham et al., 1995; Knops et al.,1997). En nuestro estudio no podemos hablar de poca o alta disponibilidad de estos nutrientes ya que no se realizaron análisis de *Cation Exchange Capacity* para determinar este aspecto, pero las concentraciones encontradas para estos nutrientes en los suelos son de gran importancia ya que nos pueden dar una idea del rol de la inundación al momento de concluir sobre que especie arbórea es más eficiente en el uso de los nutrientes N, P y K.

Comparación los %RT de N, P y K en las especies arbóreas entre áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación

Los resultados obtenidos del %RT de N, P y K muestran diferencias en función del factor de inundación. Nuestros datos reflejan que para N y P *Pterocarpus* mostró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en los %RT de estos nutrientes observándose los valores más altos en áreas menos expuestas a inundación (secas) (Figuras 4 y 5). *Annona* no mostró diferencias significativas en los %RT de N y P en comparación con *Pterocarpus* (Figuras 4 y 5). Este hecho expone que el factor de inundación influye en el

desempeño fisiológico de estas especies sobre todo para *Pterocarpus* en donde demuestra ser más eficiente en el uso de N y P en áreas menos expuestas a inundación. Estudios como el de Lugo et al. (1990), Peng & Liu (2002;2005) y Read & Lawrence (2006) exponen que humedales influenciados por agua dulce tienden a ser menos eficientes en el uso de nutrientes en comparación a humedales costeros debido a que la inundación puede aumentar la disponibilidad de nutrientes mediante el transporte y acumulación de sedimentos y aumento en las tasas de descomposición de hojarasca. En cuanto a este aspecto, es importante resaltar el hecho de que se pudo observar la presencia de algas en zonas inundadas lo cual puede indicar condiciones de eutroficación y de concentración de nutrientes, mientras que Torres (2010) encontró que las tasas más altas de descomposición de hojarasca fueron encontradas en suelos más expuestos a inundación. Estos datos demuestran que el factor de inundación puede influir en la disponibilidad de nutrientes y por consiguiente en el desempeño fisiológico en las especies arbóreas bajo estudio. También, en el estudio de Kozlowski (1984) sobre respuesta fisiológica de plantas en condiciones de inundación, expone que el agua en suelos básicos y alcalinos puede provocar cambios en pH lo cual permite una mayor liberación de nutrientes, en especial de P, aumentando de esta manera la disponibilidad de este elemento en los suelos en comparación a suelos que no tienen esta influencia tan directa del agua. Estos detalles pueden explicar por qué la eficiencia en el uso de N y P fue mayor en el área menos expuesta a inundación (seca) significativamente para *Pterocarpus*.

En cuanto al %RT de K encontramos diferencias no significativas en ninguna de las especies arbóreas entre áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación (secas) (Figura 6). Estos resultados demuestran que para este nutriente las especies bajo estudio retranslocan K al mismo nivel en ambas áreas muestreadas. Aunque no encontramos diferencias significativas, cabe resaltar que los valores más altos de %RT

de K se encontraron en *Pterocarpus* en comparación con *Annona* tanto en áreas inundables y en áreas menos expuestas a inundación lo cual demuestra una mayor eficiencia en el uso de este nutriente por parte de esta especie (Figura 6). Medina et al., (2007) establece que para este nutriente *Pterocarpus* aumenta su captura a través de las raíces por compartimientos especializados que desarrolla cuando se encuentra en ambientes expuestos a la salinidad como adaptación a estas condiciones. Por lo tanto al encontrarnos en un ambiente donde la salinidad no es un factor influyente en las características de este humedal, los individuos de esta especie no poseen esta adaptación lo que dificulta la captura de este elemento a través de las raíces máxime cuando se trata de uno de los nutrientes más limitado en los suelos (Motagnini & Jordan, 2002). Este hecho provoca que la especie tenga que invertir en mecanismos de conservación de nutriente lo que se traduce en %RT más altos para K.

Los resultados encontrados en cuanto a las diferencias en los %RT de N, P y K en función del factor de inundación demuestran que en efecto este componente incide en el desempeño fisiológico de las especies arbóreas bajo estudio significativamente para *Pterocarpus*. Cabe señalar que al calcular los %RT de N, P y K mediante las ecuaciones 1 y 2, expuestas previamente en la metodología, no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) en los valores obtenidos lo que demuestra una constancia en los resultados y por consiguiente las formas que fueron empleadas para estimar la retranslocación de los nutrientes bajo estudio en *Pterocarpus* y *Annona* (Tablas 9 y 10). Este aspecto es bien importante porque fundamenta el análisis en cuanto al desempeño fisiológico de estas especies.

Variación temporal en los %RT de N, P y K

La estacionalidad ambiental es un aspecto que nos ayuda a ver como el factor de inundación influye el desempeño fisiológico de las especies arbóreas en términos de

retranslocación de nutrientes. En este sentido la precipitación es un factor ambiental que puede incidir en la inundabilidad de las áreas muestreadas por lo tanto en la disponibilidad de nutrientes y por consiguiente en la retranslocación de N, P y K que exhiben las especies arbóreas bajo estudio. La (Figura 7) muestra el patrón climatológico en términos de precipitación anual desde el 1971 al 2000 para el área de Cataño en la que se pueden observar los valores más bajos de precipitación para los meses de febrero y marzo. Al observar los %RT de N, P y K durante el periodo de estudio encontramos que los valores más altos de retranslocación en las especies arbóreas coinciden directamente con los meses en donde se registra una menor precipitación (febrero y marzo) sobre todo en las áreas menos expuestas a inundación (secas) (Figuras 8 a 10). Este hecho demuestra que para los meses donde se registra una disminución en la precipitación las especies arbóreas, en especial *Pterocarpus* en áreas menos expuestas a inundación (secas), tienden a ser más eficientes en el uso de estos nutrientes debido a los cambios que se pueden producir en términos de la inundabilidad de las áreas durante estos meses y por una disminución de la influencia del agua en la descomposición de hojarasca durante estos meses (Peng & Liu, 2002;2005; Read & Lawrence, 2006; Sjögersten & Wookey, 2004).

Cabe resaltar que en términos de retranslocación de K, *Pterocarpus* mostró una similitud y constancia en el %RT para este nutriente a lo largo del periodo de estudio tanto en áreas inundables como en áreas menos expuestas a inundación (secas) con valores cerca del 60% los cuales son más altos en comparación a la mayoría de los valores observados en la especie *Annona* para este nutriente (Figura 10). Este hecho demuestra que esta especie mostró ser muy eficiente en el uso de este nutriente tanto en áreas inundables como en áreas menos expuestas a inundación a lo largo del periodo de estudio en comparación a la variación observada por la especie *Annona*. La fisiología de *Pterocarpus* en cuanto a la captura de K, expuesta previamente (Medina et

al.,2007), y el hecho de que K es un nutriente limitado en los suelos (Motagnini & Jordan;2002; Silver,1994) explican la gran eficiencia que muestra esta especie en el uso de este nutriente. También es importante destacar que este nutriente es un elemento muy móvil en los tejidos vegetales lo cual puede explicar por qué este especie activa mecanismos de conservación para este nutriente.

Comparación en los %RT de N, P y K entre las especies arbóreas

Al establecer la comparación en los %RT de N, P y K entre las especies arbóreas bajo estudio es importante resaltar que la misma es realizada en función de la capacidad fisiológica que muestra la especie en términos de la cantidad de nutrientes que son removidos de los tejidos senescentes de estas plantas antes de que ocurra la abscisión de la hoja. Esto es lo que Killingbeck, (1996) denominó como proeficiencia en la reabsorción de nutrientes. En este sentido un %RT alto coincide con una mayor remoción de nutrientes de los tejidos senescentes de la planta lo que se traduce en una menor concentración de nutrientes en las hojas senescentes. Por lo tanto, plantas que son bien eficientes en el uso de nutrientes poseen %RT altos y por consiguiente concentraciones de nutrientes más bajas en sus hojas senescentes (Killingbeck,1996; Aerts,1996). Al aplicar este análisis a nuestros resultados observaremos una relación inversamente proporcional entre los %RT y el contenido de nutrientes N, P y K en las hojas senescentes con coeficientes de correlación negativos y significativos ($P \leq 0.05$) para la mayoría de los nutrientes estudiados (Figuras 11 a la 13). En cuanto a N podemos observar que la especie *Annona* muestra los %RT más altos para este nutriente en comparación con *Pterocarpus* tanto en áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación (secas) (Figura 11). Esto implica que en la especie *Annona* se observan las concentraciones más bajas en sus hojas senescentes en comparación con

Pterocarpus (Figura 11). El patrón encontrado en los %RT de N puede ser explicado mediante la fisiología que presenta *Pterocarpus* para este nutriente. Medina et al. (2007) y Pérez & Heartsill (2008) establecen que esta especie posee relaciones simbióticas bien desarrolladas con bacterias fijadoras de N₂ las cuales son mucho más desarrolladas en humedales de agua dulce. Esta interacción incide en la fisiología de esta especie en términos de la reabsorción de N. Según, Killingbeck (1996), especies que presentan estas relaciones simbióticas bien desarrolladas tienden a mostrar concentraciones más altas de N en las hojas senescentes en comparación con otras especies debido a la facilidad en la captura de este nutriente a través de las raíces que permite este tipo de relación simbiótica. Por lo tanto, especies que presentan este tipo de interacción presentan %RT más bajos y por consiguiente una mayor concentración de N en las hojas senescentes. Por tal razón el patrón observado en cuanto a los %RT de N entre *Pterocarpus* y *Annona* demuestran una consistencia con la fisiología que presenta *Pterocarpus* en donde al ser una especie con este tipo de relación simbiótica bien desarrolladas la misma se espera que presente %RT de N más bajos en comparación con *Annona* (Figura 11).

En cuanto al P y K podemos establecer que la mayoría de los individuos muestreados de *Pterocarpus* mostraron ser más eficiente en el uso de estos nutrientes con %RT más altos en comparación con *Annona* tanto en áreas inundables como en áreas menos expuestas a inundación (secas) (Figuras 12 y 13). Por lo tanto las concentraciones más bajas de P y K se registraron en las hojas senescentes de *Pterocarpus* al demostrar ser más proficiente en la reabsorción de estos nutrientes (Figuras 12 y 13). El patrón observado para P y K demuestra que *Pterocarpus* posee mecanismos de conservación más eficientes para estos nutrientes en comparación con lo que exhibe los individuos de las especie *Annona*, máxime cuando se trata de nutrientes que son los más limitados en la mayoría de los ecosistemas terrestres (Lugo

et al.,1990; Montagnini & Jordan,2002). Este hecho puede ser explicado por la fisiología, previamente expuesta, que presenta *Pterocarpus* para estos nutrientes para este tipo de ecosistema (Medina et al., 2007). Por lo tanto podemos establecer que *Pterocarpus* demostró ser más eficiente en el uso de P y K sobre todo en áreas menos expuestas a inundación (secas) en comparación a los individuos de la especie *Annona*. Los resultados encontrados en nuestro estudio coinciden con lo encontrado en varios estudios importantes sobre retranslocación de nutrientes durante la senescencia de las hojas como el de Allison & Vitousek (2004), Killingbeck (1996) y Aerts (1996) los cuales señalan que valores altos de %RT indican la cantidad de nutrientes que son removidos de las hojas senescentes hacia las partes vivas del tejido vegetal antes de que ocurra la abscisión de las hojas. Fisiológicamente, esto se traduce que la planta reabsorbe mayor contenido de nutriente de los tejidos senescentes provocando que la misma sea menos dependiente de los recursos del suelo, en especial de aquellos nutrientes que se encuentran más limitados. Por lo tanto nuestros datos exponen que la influencia del factor de inundación en cuanto a la disponibilidad de nutrientes, se traduce en cambios en la retranslocación y por consiguiente en una mayor eficiencia con que los nutrientes son utilizados por la planta para la producción de su biomasa sobre todo en las áreas menos expuestas a inundación (secas) (Montagnini et al.,2000; Cuevas & Lugo,1998; Read & Lawrence, 2006; Kozlowski,1984; Lugo et al.,1990; Silver,1994; Bridham et al., 1995; Knops et al., 1997; Saur et. al., 2000).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al evaluar las propiedades foliares en términos de AFE, el %RT de N, P y K en las especies arbóreas entre áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación, la variación temporal en el %RT para estos nutrientes en función de la estacionalidad ambiental y las diferencias en los %RT de N, P y K entre las especies arbóreas, se exponen las siguientes conclusiones y recomendaciones para un manejo efectivo de las áreas mitigadas de la Ciénaga Las Cucharillas y para proyectos de mitigación en humedales.

Conclusiones:

En términos de estructura foliar concluimos que existen diferencias cualitativas entre el material foliar de las especies bajo estudio (Apéndice 6). Los datos cuantitativos en términos de AFE confirman esta diferencia en donde se pudo observar diferencias bien marcadas en estos valores entre las especies bajo estudio. En este sentido podemos establecer que *Pterocarpus officinalis* fue la especie con mayor AFE en comparación con *Annona glabra* (Tablas 2 a la 8). En cuanto a las concentraciones de N, P y K entre suelos en áreas inundables y menos expuestas a inundación podemos establecer que no se reflejaron diferencias significativas en las concentraciones de nutrientes en los suelos. Esto resalta que la inundabilidad es el factor más influyente y determinante en la fisiología de estas especies en términos de retranslocación. En este sentido el factor de inundación puede influir en la disponibilidad de nutrientes y por consiguiente en el desempeño fisiológico de las especies en términos de retranslocación (Silver 1994; Bridham et al., 1995; Knops et al., 1997). Nuestros datos reflejaron que tanto el P y el K son los nutrientes que en menor cantidad se encuentran

en los suelos tanto en áreas inundables como en áreas menos expuestas a inundación (secas). Este patrón fue homogéneo entre los suelos muestreados en donde el P y el K resultaron ser los elementos que en menor cantidad se encuentran al compararlos con N (Figura 3). Esto demuestra lo limitado que estos nutrientes pueden estar en estas áreas lo cual es consistente con el hecho de que tanto el P y el K son los elementos más limitados en la mayoría de los ecosistemas terrestres (Lugo et al.,1990;Montagnini & Jordan, 2002). En este sentido nuestros datos demostraron una mayor EUN, especialmente en *Pterocarpus* en áreas menos expuestas a inundación, para estos nutrientes al registrarse valores de retranslocación más altos tanto para P como para K. Esto es consistente con lo establecido por Silver, (1994) en donde la EUN aumenta en función de los elementos que más limitados se encuentran en los suelos.

En cuanto a la retranslocación de N, P y K nuestros resultados establecen diferencias bien marcadas en la retranslocación de estos nutrientes en las especies arbóreas en función del factor de inundación entre áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación. En este sentido *Pterocarpus* resultó ser la especie más eficiente para los nutrientes estudiados, significativamente para N y P en áreas menos expuestas a inundación (seca). La inundabilidad que puede exhibir un área puede influir en la disponibilidad de nutrientes y por ende en el desempeño fisiológico de las especies en términos de retranslocación (Kozlowski,1984;Lugo et al.,1990) encontrado particularmente en *Pterocarpus*. También podemos establecer que la fisiología que presenta *Pterocarpus* puede explicar por qué esta especie muestra una mayor eficiencia en el uso de K (Medina et al., 2007) tanto en áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación en comparación con *Annona*. Por lo tanto podemos establecer que para fines de manejo en humedales de este tipo es importante tomar en cuenta como el factor de inundación influye en el desempeño fisiológico de las especies arbóreas en especial en las áreas menos expuestas a inundación. Cabe destacar que

los %RT calculados mediante las ecuaciones 1 y 2 no reflejaron diferencias significativas por lo que podemos establecer una constancia en los valores de retranslocación calculados.

En términos de la variación temporal en los %RT en función de la estacionalidad ambiental podemos establecer que los meses en donde se registran las tasas más bajas de precipitación coinciden con los valores de retranslocación de N, P y K más altos sobre todo para *Pterocarpus* en áreas menos expuestas a inundación. Por lo tanto podemos establecer que la precipitación influye en la inundabilidad de los suelos por consiguiente en la disponibilidad de nutrientes y por ende en el desempeño fisiológico de las especies arbóreas en la que demuestran una mayor EUN para los meses más secos. En este sentido *Pterocarpus* demostró ser más eficiente durante temporadas más secas especialmente en las áreas menos expuestas a inundación.

En términos de las diferencias encontradas en la retranslocación de los nutrientes bajo estudio entre las especies arbóreas, podemos establecer que en cuanto a N los %RT fueron más altos para *Annona* en comparación con *Pterocarpus*. En este sentido el contenido total de N en las hojas senescentes de *Pterocarpus* fue mucho más alto en comparación al contenido total de este nutriente en las hojas senescentes de *Annona*. Podemos concluir que el patrón encontrado en la retranslocación de N es consistente con la fisiología que presenta *Pterocarpus* en función de las relaciones simbióticas bien desarrolladas con bacterias fijadoras de N₂ que posee esta especie (Medina et al.,2007; Pérez & Heartsill, 2008). Por lo tanto el hecho de que esta especie exhiba %RT de N más bajos en comparación con *Annona* coincidió con lo encontrado por Killingbeck (1996) en donde especies que poseen relaciones simbióticas bien desarrolladas con bacterias fijadoras de N₂ poseen un mayor contenido de N en las hojas senescentes en comparación a otras especies lo cual se traduce en %RT de N más bajos. Este patrón fue claramente observado en la retranslocación de este nutriente

entre las especies arbóreas bajo estudio en las áreas muestreadas. En cuanto a la retranslocación de P y K podemos concluir que la mayoría de los individuos de *Pterocarpus* demostraron ser más eficiente en el uso de estos nutrientes al presentar los %RT más altos en comparación con los individuos de la especie *Annona*. Por lo tanto las concentraciones totales de P y K en las hojas senescentes de *Pterocarpus* son mucho más bajas en comparación al contenido total de estos nutrientes en las hojas senescentes de la especie *Annona*. Esto demuestra que para nutrientes limitados como lo son el P y el K *Pterocarpus* muestra una mayor eficiencia sobre todo en áreas menos expuestas a inundación.

Estos resultados son de gran importancia ya que nos demuestran como el desempeño fisiológico de estas especies en términos de retranslocación varía entre especies y en función de la inundación que presentan las áreas muestreadas. Para fines de restauración y manejo, en ecosistemas de este tipo, la información aquí expuesta nos brinda una mejor idea de cómo emplear estas especies arbóreas de formas más efectivas para producir restauraciones más exitosas en Cucharillas y en humedales donde se desea realizar proyectos de restauración. En este sentido los patrones encontrados en Cucharillas en términos del desempeño fisiológico en las especies arbóreas estudiadas pueden servir de base para el desarrollo de proyectos de mitigación en otros humedales en especial en humedales interiores. También, nuestros datos aportan al conocimiento fisiológico de las especies arbóreas bajo estudio en especial de *Annona* debido a la poca información que existe sobre esta especie.

Recomendaciones

Para el manejo de las áreas mitigadas de la Ciénaga las Cucharillas

1. Mantener la asociación entre *Pterocarpus officinalis* y *Annona glabra* en las áreas mitigadas, tanto en áreas inundables y menos expuestas a inundación, debido a las diferencias encontradas en los %RT N, P y K.
2. Se recomienda sembrar en mayor proporción *Pterocarpus officinalis*, sobre todo en áreas menos expuestas a inundación (secas), al ser la especie que mostró mayor eficiencia para los nutrientes estudiados, en especial para aquellos que son más limitados (P y K).
3. Considerar el factor de inundación, típico de estos ecosistemas, debido a la influencia que ejercerse en el desempeño fisiológico de las especies arbóreas, en términos de retranslocación, para un uso más apropiado de las mismas, para un manejo más efectivo de las áreas mitigadas y para proyectos de mitigación que se deseen desarrollar en humedales interiores.
4. Mejorar el arreglo espacial en la siembra de estas especies en las áreas mitigadas, tanto en áreas inundables como en áreas menos expuestas a inundación.

Para proyectos de mitigación en Humedales

1. Realizar investigaciones enfocadas en el desempeño fisiológico de especies arbóreas típicas de humedal para conocer cuáles son las más efectivas para proyectos de restauración en este tipo de ecosistema.

2. Aumentar la investigación sobre parámetros ecológicos que puedan ser utilizados para describir el desempeño fisiológico de especies arbóreas que se desean emplear en proyectos de restauración en humedales.

Investigación

1. Determinar la disponibilidad de nutrientes en los suelos, tanto en áreas inundables y en áreas menos expuestas a inundación, para la siembra efectiva de las especies arbóreas a base de los %RT encontrados.

2. Determinar como el factor de inundación influye en la disponibilidad de nutrientes en los suelos y por consiguiente en el desempeño fisiológico de las especies arbóreas. También conocer como la presencia de contaminantes puede influir en la disponibilidad de nutrientes en los suelos de las áreas mitigadas.

3. Desarrollar estudios sobre caída de hojarasca, descomposición y aporte de nutrientes con un mayor número de individuos de las especies bajo estudio para comparar estos datos con los presentados en este estudio con el fin de tener una idea más clara sobre la relación entre aportación y reabsorción de nutrientes en las áreas mitigadas de la Ciénaga Las Cucharillas.

4. Comparar la retranslocación de nutrientes en el área que se mantiene inundada para evaluar cómo este parámetro podría variar entre las especies arbóreas y ofrecer recomendaciones de manejo efectivas para esta zona.

5. Estudiar como el desarrollo y estructura de nódulos y la simbiosis con bacterias fijadoras de N₂ puede afectarse por el efecto de la inundación en *Pterocarpus officinalis*.

6. Evaluar el éxito de las especies estudiadas al emplear las mismas en otros humedales en los cuales se han desarrollado proyectos de mitigación o en donde también se hallan utilizado estas especies.

Limitaciones

1. La inundabilidad que presenta la zona durante periodos de mucha precipitación.

LITERATURA CITADA

- Aerts, R. (1996). Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: are there general patterns?. *Journal of Ecology*, 84, 597-608.
- Allison, S.D. & Vitousek, P.M. (2004). Rapid nutrient cycling in leaf litter from invasive plants in Hawaii. *Oecologia*, 141, 612-619.
- Álvarez López, M. (1990). Ecology of *Pterocarpus officinalis* forested wetlands in Puerto Rico. Pages 251-265. In Lugo, A.E., Brinson M. & Brown S. *Ecosystems of the World 15. Forested Wetlands*. Elsevier, Amsterdam.
- Arana, B. (2008). Análisis de la productividad y estructura forestal en el área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas. Tesis no publicada, Escuela Graduada de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, San Juan, P.R.
- Brenner, J.M. & Mulvaney, C.S. (1982). Nitrogen-total. En Page A.L. (Ed.), *Methods of soil analysis II chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy, Madison, Wis, pp 595-624.
- Bridham, S.D., John, P., Charles, A. Mc. & Curtis, J.R. (1995). Nutrient use efficiency: a litterfall index, a model and a test along a nutrient availability gradient in North Carolina peatlands. *The American Naturalist*, 145(1), 1-21.
- Brinson, M.M. & Malvarez, A.I. (2002). Temperate freshwater wetlands: types, status and threats. *Environ. Conserv.*, 29, 115-133.
- Byard, R., Lewis, L.C. & Florencia, M. (1996). Leaf litter decomposition and mulch performance from mixed and monospecific plantations of native tree species in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 58, 145-155.
- Campo, J., Manuel, M. J., Jaramillo, V.J. & Martínez-Yrizar, A. (2001). Phosphorus cycling in a Mexican tropical dry forest ecosystem. *Biogeochemistry*, 53, 161-179.
- Cicin, B. & Knecht, R.W. (1998). Integrated coastal and ocean management concepts and practices. Island Press, Chapter 1, pp. 15-36.
- Cotrufo, M.F. & Ineson, P. (1996). Elevated CO₂ reduces decomposition rates of *Betula pendula* (Roth) leaf litter. *Oecologia*, 106, 525-530.

- Covelo, F., A. Rodríguez & A. Gallardo. (2008). Spatial pattern and scale of leaf N and P resorption efficiency and proficiency in a *Quercus robur* population. *Plant Soil*, 311, 109–119.
- Cowardin, L.M, Carter, V, Golet, F.C. & LaRoe, E.T. (1979). Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. Washington, DC: US Dep. Inter., Fish Wildl. Serv., Off. Biol. Serv. 129 pp.
- Cuevas, E. & Lugo, A.E. (1998). Dynamics of organic matter and nutrient return from litter fall in stand of ten tropical plantation species. *Forest Ecology and Management*, 112, 263-279.
- Dahl, T.E. (1990). Wetlands losses in the United States, 1780s to 1980s. U.S. Fish and Wildlife Service, Washington, D.C.
- Escudero, A. & Mediavilla, S. (2003). Dinámica interna de los nutrientes. *Ecosistemas*, 1, 12-25.
- Escudero, A., Del Arco, J.M., Sanz, I.C. & Ayala, J. (1992). Effects of leaf longevity and retranslocation efficiency on the retention time of nutrients in the leaf biomass of different woody species. *Oecología*, 90, 80-87.
- Escuela de Asuntos Ambientales-UMET (2004). Plan maestro para la restauración, protección, y co-manejo de la Ciénaga Las Cucharillas y coalición para la conservación de la ciénaga Las Cucharillas.
- Eusse, A.M. & Aide, M. (1999). Patterns of litter production across a salinity gradient in a *Pterocarpus officinalis* tropical wetland. *Plant Ecology*, 145, 307-315.
- Ewel, J.J. & Hiremath, A. (1998). Nutrient use efficiency and the management of degraded lands. En B. Gopal, P.S. Pathak & K.G. Saxena (Ed.) *Ecolog Today: An Anthology of Contemporary Ecological Research* (pp. 199-215). International Scientific Publications, New Delhi, India.
- Franceschini, F. (2008). Evaluación comparativa de dos mitigaciones realizadas en la Ciénaga Las Cucharillas. Tesis no publicada, Escuela Graduada de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, San Juan, P.R.
- Francis, J.K. & Lowe, C.A. (2000). Bioecología de árboles nativos y exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales. Gen Tech. Rep. IITF-15. Río Piedras, Puerto Rico: USDA, Servicio Forestal, Instituto de Dasonomía Tropical.

- Galicia, L., F. García-Oliva, R. Murillo & M. Oliva. (2002). Flujos de C, N y P al suelo de dos especies de árboles remanentes en una pradera tropical estacional. *Acta Botánica Mexicana*, 61, 41-57.
- Goldberg, D.E. (1982). The distribution of evergreen and deciduous trees relative to soil type: An example from the Sierra Madre, Mexico, and a general model. *Ecology*, 63, 942-951.
- Golley, F.B & Leith, H., (1972). Basis of organic production in the tropics. En P.M. Golley (Ed.) *Tropical ecology with emphasis on organic production* (pp.1-26).
- Gourley, C.J.P., D.L. Allan & M.P. Ruselle (1994). Plant nutrient efficiency: a comparison of definition and suggested improvement. *Plant and Soil*, 158, 29-37.
- Grubb, P.J. (1995). Mineral nutrients and soil fertility in tropical rain forest. En A.E. Lugo & C. Lowe, (Ed.) *Tropical Forest: Management and Ecology*. (pp.308-330). Ecological Studies 112, Springer-Verla, USA.
- Kadlec, R. & Knight, R. (1996). *Treatment Wetlands*. Boca Raton, FL, CRC Press.
- Killingbeck, K.T. (1996). Nutrients in senesced leaves: keys to the search for potential resorption and resorption proficiency. *Ecology*, 77, 1716–1727.
- Kobe, R.K., Iyer, M. & Lepczyk, C.A. (2005). Resorption efficiency decreases with increasing green leaf nutrients in a global data set. *Ecology*, 86, 2780-2792.
- Kozłowski, T.T. (1984). Plant Responses to Flooding of Soil. *BioScience*, 34, 3, 162-167.
- Knops, J.M.H., Walter D. K. & Thomas H.N.III. (1997). On the relationship between nutrient use efficiency and fertility in forest ecosystems. *Oecología*, 110, 550-556.
- Lellis-Dibble, K.A., McGlynn, K.E. & Bigford, T.E. (2008). Estuarine fish and shellfish species. In *U.S. commercial and recreational fisheries: economic value as an incentive to protect and restore estuarine habitat*. In press.
- León Peláez, J.D, González Hernández, M.I. & Gallardo Lancho, J.F. (2009). Retranslocación y eficiencia en el uso de nutrientes en Bosques del Centro de Antioquia. *Revista Colombia Forestal*, 12, 119-140

- Lin, Y. & da Silveira Lobo Sternberg, L. (2007). Nitrogen and phosphorus dynamics and nutrient resorption of *Rhizophora mangle* leaves in South Florida, USA. *Bulletin of marine science*, 80, 1, 159–169.
- Liski J. et. al. (2003). Climatic effects on litter decomposition from arctic tundra to tropical rainforest. *Global change biology*, 9, 575-585.
- Little, E.J., Roy, O.W. & F.H., Wadsworth (1988). *Árboles de Puerto Rico y Las Islas Vírgenes, Volumen 2*. USDA, Forest Service, Washington D.C.
- Little, E.J. & F.H. Wadsworth (1995). Common trees of Puerto Rico and the Virgin Islands. Reprinted by authors from U.S. Agriculture Service Handbook.
- Lugo, A. & Peter, M. (1986). Nutrients dynamics of a Puerto Rican subtropical dry forest. *Journal of Tropical Ecology*, 2, 55-72.
- Lugo, A., Brinson, M.M. & Brown, S. (1990). Synthesis and search for paradigms in wetland ecology. En Lugo A.E., Brinson, M.M. and Brown, S. (Ed) *Forested Wetlands*. (pp.447-461). Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Lugo, A. (1998). Mangrove ecosystem with emphasis on nutrient cycling. *Ecology Today: An Anthology of Contemporary Ecological Research*.
- Lugo, A. (1999). Metodología para estimar el almacenaje y flujo de nutrientes en hojarasca y suelo de bosques secundarios. *Acta científica*, 13(1-3), 11-26.
- Lugo, A. (2006). Lecciones ecológicas de una isla que lo ha visto todo. *Ecotrópicos*, 19(2), 57-71.
- Martín, A., Santa Regina, I. & Gallardo, J.F. (1996). Eficiencia, retranslocación y balance de nutrientes en Bosques de *Quercus pirenaica* bajo diferente pluviometría en la Sierra de Gata (Centro-Oeste Español). *Ecología* 10, 79-93.
- Martínez, J.L. (2005). Nitrogen and phosphorus in a neotropical rain forest of nutrient-rich soil. *Rev. boil.trop.*, 53(3-4), 353-359.
- McAllister, D.E., Craig, J.F., Davidson, N., Delany, S. & Seddon, M. (2001). *Biodiversity impacts of large dams*. Int. Union Conserv. Nat. Natural Resour. UN Environ. Programme Rep. <http://www1.unep.org/depi/icarm/envdams/Report1BiodiversityImpacts>. PDF.

- Medina, E., Elvira, C. & Ariel, L. (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.
- Mitsch, W.J. & J.G., Gosselink (2000). *Wetlands*, 3rd ed. John Wiley & Sons, New York, 2000, NRCS. National Resource Inventory: Background and Highlights. USDA-NRCS, Washington, D.C.
- Montagnini, F., C.F., Jordan & M., Machado. (2000). Nutrient cycling and nutrient use efficiency in agroforestry systems. In P.M.S. Ashton & F. Montagnini (Ed.) *The Silvicultural Basis for Agroforestry Systems* (pp.131-160). CRC Press, USA.
- Montagnini, F. & C.F., Jordan. (2002). Reciclaje de Nutrientes. In M.R. Guariguata y G.H. Kattan (Ed.) *Ecología y conservación de bosques neotropicales* (pp.167-191). Ediciones LUR, Cartago, Costa Rica.
- Murphy, P.G. & A.E., Lugo. (1995). Dry forest of Central America and the Caribbean. En S.H. Bullock, H.A. Mooney & E. Medina (Ed.) *Seasonally dry tropical forest* (pp.9-34). Cambridge University Press, UK.
- Negrón Calderón, J. (2008). Evaluación de la presencia de Bifenilos Policlorados PCBs en el suelo de la Ciénaga Las Cucharillas en Cataño y los riesgos potenciales a las comunidades adyacentes. Tesis no publicada, Escuela Graduada de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, San Juan, P.R.
- Nicholls, R.J., Hoozemans, F.M.J. & Marchand, M. (1999). Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: regional and global analyses. *Glob. Environ. Change* 9, 69–87.
- Peng, S. L. & Liu, Q. (2005). Decomposition of leaf litter in tropical and subtropical forests of Southern China. *Journal of Tropical Forest Science*, 17(4), 543-55.
- Peng, S. L. & Liu, Q. (2002). The dynamics of forest litter and its responses to global warming. *Acta Ecologica Sinica*, 22(9), 1534-1544.
- Pérez Amaro, J.A., et. al. (2004). A growth analysis, specific leaf area and leaf nitrogen concentration in "mulato" grass (*Brachiaria híbrido*, cv). *Tec. Pecu. Mex.*, 42(3), 447-458.
- Pérez, C.A., Armesto, J.J, Torre Alba, C. & Carmona, M.R. (2003). Litterfall dynamics and nitrogen use efficiency in two evergreen temperate rainforests of southern Chile. *Austral Ecology*, 28, 591-600.

- Pérez, R. & Heartsill Scalley, T. (2008). Root nodulation in the wetland tree *Pterocarpus officinalis* along coastal and montane systems of northeast of Puerto Rico. *Acta Científica*, 22,(1-3),45-54.
- Pérez-Salicrup, D.R. (2004). Forest types and their implications. En B.L. Turner II., J. Geoghegan and D.R. Foster (Ed.) *Integral land changes science and tropical deforestation in the Southern Yucatán* (pp.63-80). Final Frontiers, Oxford, Oxford University Press.
- Popper, N. et al. (1999). A comparison of two secondary forests in the coffee zone of central Puerto Rico. *Acta Científica*, 13,27-41.
- Ramsar (2002). *Fact Sheet on Wetland Values and Functions: Flood Control*. Ramsar, Gland, Switz. http://www.ramsar.org/values/floodcontrol_e.htm.
- Raphael, K. & Didham, R.K. (1998). Altered leaf-litter decomposition rates in tropical forest fragments. *Oecologia*, 116, 397-406.
- Read, L. & D., Lawrence. (2006). Interactions between water availability and nutrient cycling in dry tropical forests. En P.D. Odorico & A. Porporato (Ed.) *Dryland Ecohydrology* (217-232), Springer.
- Saur, E., Nambiar, E.K.S., & Fife, D.N. (2000). Foliar nutrient retranslocation in *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiology*, 20,1105-1112.
- Scatena, F.N. et. al. (1996). The first five years in the reorganization of aboveground biomass and nutrient use following Hurricane Hugo in the Bisley experimental watershed, Luquillo experimental forest in P.R. *Biotrópica*, 28, 424-440.
- Silver, W.L. (1994). Is nutrient availability related to plant nutrient use in humid tropical forests?. *Oecología*, 98,336-343.
- Sjögersten, S. & Wookey, P.A. (2004). Decomposition of mountain birch leaf litter at the forest-tundra ecotone in the Fennoscandian mountains in relation to climate and soil conditions. *Plant and Soil*, 262,215–227.
- Stedman, S.M. & J., Hanson (2000). *Habitat Connections: Wetlands, fisheries and economics in the South Atlantic Coastal States*. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service.

- Tiessen, H., E. Cuevas, & I.H., Salcedo.(1998).Organic matter stability and nutrient availability under temperate and tropical conditions. En Catena Verlag (Ed.) *Towards Sustainable Land Use* (pp. 415-422). *Advances in Geo Ecology*,31.
- Tiner, R.W.(1999)."Problem Wetlands and Field Situations" Wetland Indicators: A Guide to Wetland Identification, Delineation, Classification, and Mapping Boca Raton: CRC Press LLC.
- Torres,M. (2010). Evaluación aportación de nutrientes en el área mitigada de la Ciénaga Las Cucharillas. Tesis no publicada, Escuela Graduada de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, San Juan,P.R.
- Turner, R.E. (2001). Estimating the indirect effects of hydrologic change on wetland loss: If the earth is curved, then how would we know it?. *Estuaries* 24, 639-46.
- Van Heerwaarden, L.M., Toet, S. & Aerts, R. (2003). Current measures of nutrient resorption efficiency lead to a substantial underestimation of real resorption efficiency: facts and solutions. *Oikos*,101-103.
- Vann D. R., Joshi, A., Pérez, C. et al. (2002) Distribution and cycling of C, N, Ca, Mg, K and P in three pristine, old growth forests in the Cordillera de Piuchué, Chile. *Biogeochemistry*,60, 25–47.
- Veneklaas, E.J. (1991). Litterfall and nutrient fluxes in two montane tropical rain forests, Colombia. *Journal of Trop. Ecol.*,7,319–36.
- Vera M., Cavelier,J & Santamaria,J. (1999). Reabsorción de nitrógeno y fósforo foliar en árboles de bosques montanos en los Andes centrales de Colombia. *Rev. Biol. Trop.*,47,1-2.
- Vitousek,P.M.,(1982). Nutrient cycling and nutrient use efficiency. *American Naturalist*,119, 553-572.
- Vitousek, P.M. (1984). Litterfall, nutrient cycling and nutrient limitations in tropical forests. *Ecology*,65, 285-298.
- Vitousek, P. M. & Sanford, R. (1986). Nutrient cycling in moist tropical forests. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*,17,137–67.

Vitousek, P.M., Turner, D. R., Parton, W. J. & Robert, L. S. (1994). Litter decomposition on the Mauna Loa environmental matrix, Hawaii: patterns, mechanisms and models. *Ecology*, 75(2), 418–429.

Vitousek, P.M. (1998). Foliar and litter nutrients, nutrient resorption and decomposition in Hawaiian *Metrosideros polymorpha*. *Ecosystems*, 1, 401-407.

Wang, Y., E., Wang, D., Wang, S., Huang, Y., Ma, C.J., Smith & L., Wang. (2010). Crop productivity and nutrient use efficiency as affected by long-term fertilisation in North China Plain. *Nutr. Cycl. Agroecosystem*, 86, 105–119.

Wright, I.J. & Westoby, M. (2003). Nutrient concentration, resorption and lifespan leaf traits of Australian sclerophyll species. *Functional Ecology*, 17, 10-19.

Zedler, J.B. & Kercher, S. (2005). Wetland Resources: Status, trends, ecosystem services and restorability. *Annu. Rev. Environ. Resour*, 30, 39-74.

Zotz, G., Tyree, M. & Patiño, S. (1997). Hydraulic architecture and water relations of a flood-tolerant tropical tree, *Annona glabra*. *Tree Physiology*, 17, 359-365.

TABLAS

Tabla 1- *Ubicación geográfica de los individuos por especie en la zona de estudio en áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación (secas).*

Individuos	Área Mitigada	Descripción del área	Localización
An01-Flx	Flexitank	Inundable	18°26.576N / 66°09.364O
An02-Flx	Flexitank	Seca	18°26.572N / 66°09.373O
An03-Flx	Flexitank	Seca	18°26.554N / 66°09.380O
An04-Flx	Flexitank	Seca	18°26.562N / 66°09.377O
An05-Flx	Flexitank	Seca	18°26.548N / 66°09.377O
An01-Bac	Bacardí	Seca	18°26.574N / 66°09.333O
An02-Bac	Bacardí	Seca	18°26.577N / 66°09.332O
An03-Bac	Bacardí	Seca	18°26.578N / 66°09.336O
An04-Bac	Bacardí	Inundable	18°26.584N / 66°09.342O
An05-Bac	Bacardí	Inundable	18°26.586N / 66°09.349O
Pt01-Flx	Flexitank	Seca	18°26.573N / 66°09.342O
Pt02-Flx	Flexitank	Inundable	18°26.582N / 66°09.354O
Pt03-Flx	Flexitank	Seca	18°26.573N / 66°09.374O
Pt04-Flx	Flexitank	Seca	18°26.564N / 66°09.380O
Pt05-Flx	Flexitank	Seca	18°26.565N / 66°09.379O
Pt01-Bac	Bacardí	Seca	18°26.579N / 66°09.338O
Pt02-Bac	Bacardí	Inundable	18°26.582N / 66°09.344O
Pt03-Bac	Bacardí	Inundable	18°26.582N / 66°09.346O
Pt04-Bac	Bacardí	Inundable	18°26.587N / 66°09.348O
Pt05-Bac	Bacardí	Inundable	18°26.583N / 66°09.351O

Tabla 2- AFE promedio (SD) (n=3), concentraciones totales de N, P y K en hoja maduras y hojas senescentes (n=3) y retranslocación de N, P y K en *Pterocarpus officinalis* (n=4) y *Annona glabra* (n=5) en el área mitigada Flexitank-Noviembre 2010. (* Individuos en áreas inundables).

Individuos	AFE(cm ² /g) (±SD)	%N- Madura	%N- Senecida	%P- Madura	%P- Senecida	%K- Foliar	%K- Senecida	%RT- N	%RT-P	%RT-K
*An01-Flx	85.24 (44.26)	1.94	1.16	0.11	0.1	1.12	0.78	40.21	9.09	30.36
An02-Flx	73.76 (20.51)	1.83	1.19	0.11	0.1	1.14	1.22	34.97	9.09	7.02
An03-Flx	80.10 (2.00)	2.13	1.24	0.15	0.1	0.89	1.09	41.78	33.33	22.47
An04-Flx	82.38 (24.59)	2.11	1.2	0.14	0.1	1.16	0.97	43.13	28.57	16.38
An05-Flx	74.97 (2.88)	2.2	1.16	0.15	0.1	1.2	0.72	47.27	33.33	40
Pt01-Flx	156.56 (1.40)	3.59	2.29	0.16	0.01	1.39	0.29	36.21	93.75	79.14
*Pt02-Flx	122.37(14.47)	3.21	2.07	0.13	0.03	0.9	0.39	35.51	76.92	56.67
Pt03-Flx	153.67(58.91)	3.32	2.61	0.12	0.04	1.06	0.48	21.39	66.67	54.72
Pt04-Flx	150.35(35.09)	3.41	1.77	0.14	0.1	1.43	0.9	48.09	28.57	37.06

Promedio	AFE (cm ² /g) (±SD)	%N- Madura	%N- Senecida	%P- Madura	%P- Senecida	%K- Madura	%K- Senecida	%RT- N	%RT- P	%RT- K
An-Flx	79.29 (18.85)	2.04	1.19	0.13	0.1	1.102	0.96	41.47	22.68	11.45
Pt-Flx	145.72(27.47)	3.38	2.19	0.14	0.05	1.195	0.52	35.30	66.48	56.90

Tabla 3- AFE promedio (SD) (n=5), concentraciones totales de N, P y K en hojas maduras y hojas senescentes (n=5) y %RT (N, P y K) en *Pterocarpus officinalis* (n=5) y *Annona glabra* (n=5) en el área mitigada Flexitank-Enero 2011. (* Individuos en áreas inundables).

Individuos	AFE (cm ² /g)- (±SD)	%N- Madura	%N- Senecida	%P- Madura	%P- Senecida	%K- Madura	%K- Senecida	%RT- N	%RT- P	%RT- K
*An01-Flx	64.04(5.73)	1.8	1.04	0.1	0.04	1.03	0.89	42.22	60	13.59
An02-Flx	50.59(49.58)	1.95	1.03	0.16	0.08	1.38	1.04	47.18	50	24.62
An03-Flx	163.31(17.21)	3.35	1.08	0.44	0.07	2.42	1.42	67.76	84.09	41.32
An04-Flx	74.37(41.82)	2.11	1.15	0.2	0.08	1.29	0.82	45.50	60	36.43
An05-Flx	94.8(46.97)	2.29	1.09	0.26	0.09	1.54	1.03	52.40	65.38	33.12
Pt01-Flx	124.25(16.77)	2.79	1.64	0.13	0.03	1.03	0.28	41.22	76.92	72.82
*Pt02-Flx	109.16(11.26)	2.53	1.09	0.12	0.03	0.8	0.32	56.91	75	60
Pt03-Flx	145.12(27.42)	2.86	1.8	0.14	0.04	1.19	0.53	37.06	71.43	55.46
Pt04-Flx	144.95(25.73)	2.94	1.76	0.12	0.02	1.6	1.34	40.14	83.33	16.25
Pt05-Flx	139.24(21.74)	2.84	1.63	0.13	0.03	1.37	0.45	42.61	76.92	67.15

Promedio	AFE(cm ² /g) (±SD)	%N- Madura	%N- Senecida	%P- Madura	%P- Senecida	%K- Madura	%K- Senecida	%RT- N	%RT- P	%RT- K
An-Flx	89.42(32.26)	2.3	1.078	0.232	0.072	1.532	1.04	51.01	63.90	29.82
Pt-Flx	132.54(20.59)	2.792	1.584	0.128	0.03	1.198	0.584	43.59	76.72	54.34

Tabla 4- AFE promedio (SD) (n=5), concentraciones totales de N, P y K en hojas maduras y hojas senescentes (n=5) y %RT (N, P y K) en *Pterocarpus officinalis* (n=5) y *Annona glabra* (n=5) en el área mitigada Flexitank-Febrero 2011. (* Individuos en áreas inundables).

Individuos	AFE- (cm ² /g) (±SD)	%N- Madura	%N- Senecida	%P- Madura	%P- Senecida	%K- Madura	%K- Senecida	%RT- N	%RT-P	%RT- K
*An01-Flx	103.51(18.20)	2.57	1.01	0.3	0.06	1.63	0.52	60.70	80	68.10
An02-Flx	107.27(40.49)	2.37	0.99	0.47	0.09	2.23	0.62	58.23	80.851	72.20
An03-Flx	123.47(23.67)	2.59	1.06	0.29	0.08	1.82	0.62	59.07	72.41	65.93
An04-Flx	101.26(41.51)	2.27	1.02	0.25	0.11	1.51	0.57	55.07	56	62.25
An05-Flx	112.24(31.37)	2.32	1.15	0.23	0.1	1.29	0.61	50.43	56.52	52.71
Pt01-Flx	110.72(7.23)	2.5	1.9	0.12	0.05	0.75	0.18	24	58.33	76
*Pt02-Flx	112.75(15.99)	2.33	1.87	0.12	0.06	0.44	0.24	19.74	50	45.45
Pt03-Flx	125.14(15.84)	2.91	0.91	0.14	0.01	0.66	0.33	68.73	92.86	50
Pt04-Flx	126.75(29.80)	3.19	1.48	0.15	0.02	1.79	1.24	53.61	86.67	30.73
Pt05-Flx	116.11(25.45)	1.64	1.02	0.12	0.03	0.78	0.34	37.80	75	56.41

Promedio	AFE(cm ² /g) (±SD)	%N- Madura	%N- Senecida	%P- Madura	%P- Senecida	%K- Madura	%K- Senecida	%RT- N	%RT-P	%RT- K
An-Flx	109.55(31.05)	2.424	1.046	0.308	0.088	1.696	0.588	56.70	69.16	64.24
Pt-Flx	118.29(18.86)	2.514	1.436	0.13	0.034	0.884	0.466	40.78	72.57	51.72

Tabla 5- AFE promedio (SD) (n=4), concentraciones totales de N, P y K en hojas maduras y hojas senescentes (n=4) y %RT (N, P y K) en *Pterocarpus officinalis* (n=3) y *Annona glabra* (n=3) en el área mitigada Flexitank-Marzo 2011. (* Individuos en áreas inundables).

Individuos	AFE-(cm ² /g) (SD)	%N- Madura	%N- Senecida	%P- Madura	%P- Senecida	%K- Madura	%K- Senecida	%RT- N	%RT- P	%RT- K
An02-Flx	94.6(5.64)	2.52	1.59	0.32	0.11	1.75	1.25	36.90	65.63	28.57
An04-Flx	71.96(40.24)	2.49	1.2	0.26	0.1	1.73	0.8	51.81	61.54	53.76
An05-Flx	78.65(44.89)	2.43	1.22	0.23	0.08	1.58	0.66	49.79	65.22	58.23
*Pt02-Flx	99.9(9.88)	2.75	1.92	0.11	0.05	0.55	0.19	30.18	54.55	65.45
Pt03-Flx	127.17(18.38)	2.91	1.56	0.13	0.03	1.07	0.31	46.39	76.92	71.03
Pt04-Flx	116.11(17.52)	2.53	1.77	0.13	0.05	1.05	0.77	30.04	61.54	26.67

Promedio	AFE(cm ² /g) (SD)	%N- Madura	%N- Senecida	%P- Madura	%P- Senecida	%K- Madura	%K- Senecida	%RT- N	%RT- P	%RT- K
An-Flx	81.74(30.26)	2.48	1.34	0.27	0.097	1.69	0.90	46.17	64.13	46.85
Pt-Flx	114.39(15.26)	2.73	1.75	0.12	0.043	0.89	0.42	35.54	64.34	54.38

Tabla 6- AFE promedio (SD) (n=5), concentraciones totales de N, P y K en hojas maduras y hojas senescentes (n=5) y %RT (N, P y K) en *Pterocarpus officinalis* (n=5) y *Annona glabra* (n=5) en el área mitigada Bacardí-Enero 2011. (* Individuos en áreas inundables).

Individuos	AFE (cm ² /g) (±SD)	%N- Madura	%N- Senecida	%P- Madura	%P- Senecida	%K- Madura	%K- Senecida	%RT-N	%RT-P	%RT- K
An01-Bac	47.14(10.36)	1.69	1.13	0.1	0.02	0.78	0.26	33.14	80	66.67
An02-Bac	70.91(24.14)	1.84	1.15	0.12	0.06	1	0.76	37.5	50	24
An03-Bac	81.23(61.14)	2.22	1.09	0.16	0.06	1.12	0.75	50.90	62.5	33.04
*An04-Bac	110.45(29.98)	2.21	1.2	0.17	0.05	1.41	0.85	45.70	70.59	39.72
*An05-Bac	66.53(1.79)	1.96	1.15	0.12	0.05	1.15	0.86	41.33	58.33	25.22
Pt01-Bac	111.15(43.28)	2.64	1.77	0.14	0.1	1.19	0.75	32.95	28.57	36.97
*Pt02-Bac	102.75(2.24)	2.45	1.9	0.14	0.11	1.05	0.84	22.45	21.43	20
*Pt03-Bac	95.46(20.18)	2.79	1.9	0.13	0.05	0.97	0.3	31.90	61.54	69.07
*Pt04-Bac	125.81(30.76)	2.69	1.97	0.15	0.08	1.34	0.37	26.77	46.67	72.39
*Pt05-Bac	127.78(36.81)	2.39	1.88	0.14	0.05	1.18	0.62	21.34	64.29	47.46

Promedio	AFE (cm ² /g) (±SD)	%N- Madura	%N- Senecida	%P- Madura	%P- Senecida	%K- Madura	%K- Senecida	%RT- N	%RT- P	%RT- K
An-Bac	75.25(25.48)	1.984	1.144	0.134	0.048	1.092	0.696	41.71	64.28	37.73
Pt-Bac	112.59(26.67)	2.592	1.884	0.14	0.078	1.146	0.576	27.08	44.50	49.18

Tabla 7 - AFE promedio (SD) (n=5), concentraciones totales de N, P y K en hojas maduras y hojas senescentes (n=5) y %RT (N, P y K) en *Pterocarpus officinalis* (n=5) y *Annona glabra* (n=5) en el área mitigada Bacardí-Febrero 2011. (* Individuos en áreas inundables).

Individuos	AFE (cm ² /g) (±SD)	%N- Madura	%N- Senecida	%P- Madura	%P- Senecida	%K- Madura	%K- Senecida	%RT- N	%RT- P	%RT- K
An01-Bac	90.19(15.24)	1.45	0.84	0.35	0.07	1.46	0.46	42.07	80	68.49
An02-Bac	107.88(12.78)	1.6	1.13	0.31	0.08	1.8	0.69	29.38	74.19	61.67
An03-Bac	100.28(34.43)	3.52	1.22	0.39	0.1	2.03	0.62	65.34	74.36	69.46
*An04-Bac	90.24(12.62)	2.45	1.11	0.17	0.06	1.48	0.92	54.69	64.71	37.84
*An05-Bac	89.92(21.88)	2.85	1.23	0.32	0.09	1.96	0.54	56.84	71.88	72.45
Pt01-Bac	122.16(56)	2.52	1.46	0.14	0.05	0.91	0.56	42.06	64.29	38.46
*Pt02-Bac	125.12(11.30)	2.17	1.98	0.21	0.21	0.82	0.86	8.76	0	4.88
*Pt03-Bac	120.94(8.75)	2.87	1.5	0.13	0.05	0.76	0.19	47.74	61.54	75
*Pt04-Bac	127.28(4.02)	2.85	2.03	0.14	0.11	0.99	0.36	28.77	21.43	63.64
*Pt05-Bac	125.28(11.91)	2.28	1.38	0.11	0.04	0.86	0.26	39.47	63.64	69.77

Promedio	AFE (cm ² /g) (±SD)	%N- Madura	%N- Senecida	%P- Madura	%P- Senecida	%K- Madura	%K- Senecida	%RT- N	%RT- P	%RT- K
An-Bac	90.70(19.39)	2.374	1.106	0.308	0.08	1.746	0.646	49.66	73.03	61.98
Pt-Bac	124.22(9.31)	2.538	1.67	0.146	0.092	0.868	0.446	33.36	42.18	48.40

Tabla 8- AFE promedio (SD) (n=5), concentraciones totales de N, P y K en hojas maduras y hojas senescentes (n=5) y %RT (N, P y K) en *Pterocarpus officinalis* (n=3) *Annona glabra* (n=3) en el área mitigada Bacardí-Marzo 2011. (* Individuos en áreas inundables).

Individuos	AFE (cm ² /g) (SD)	%N- Madura	%N- Senecida	%P- Madura	%P- Senecida	%K- Madura	%K- Senecida	%RT- N	%RT-P	%RT-K
An01-Bac	69.19 (38.96)	2.45	1.34	0.19	0.08	1.41	0.8	45.31	57.89	43.26
An03-Bac	67.47(37.77)	2.81	1.57	0.22	0.23	1.69	0.91	44.13	4.55	46.15
*An04-Bac	70.43(40.51)	2.41	1.43	0.21	0.11	1.51	0.97	40.66	47.62	35.76
Pt01-Bac	100.31(46.14)	2.48	1.52	0.13	0.06	0.79	0.7	38.71	53.85	11.39
*Pt02-Bac	110.94(46.20)	2.52	1.62	0.18	0.1	0.74	0.5	35.71	44.44	32.43
*Pt03-Bac	106.50(61.76)	2.79	1.83	0.12	0.06	0.94	0.28	34.41	50	70.21

Promedio	AFE (cm ² /g) (SD)	%N- Madura	%N- Senecida	%P- Madura	%P- Senecida	%K- Madura	%K- Senecida	%RT- N	%RT- P	%RT- K
An-Bac	69.03 (39.08)	2.56	1.45	0.21	0.14	1.54	0.89	43.37	33.66	41.73
Pt-Bac	105.92(51.37)	2.60	1.66	0.14	0.07	0.82	0.49	36.28	49.43	38.01

Tabla 9- Retranslocación de N, P y K (%) en *Annona* de áreas inundables (n=1) y *Annona* en áreas menos expuestas a inundación (secas) (n=5) calculadas mediante (Ecuación 1)-%RT= 1- [%nutriente en hojas senescentes / %nutriente en hojas maduras] x100 y (Ecuación 2)-%RT= [(% de nutriente en hoja madura / (AFE hoja madura) - (% de nutriente en hoja senescente / AFE de hoja senescente)] / (% de nutriente en hoja madura / (AFE hoja madura) x 100 durante el mes de marzo 2011. Se expone la probabilidad P obtenida mediante la prueba ANOVA-factor simple.

<i>Annona</i>	Nutriente	%RT Ec.1	%RT Ec.2	ANOVA	<i>Annona</i>	Nutriente	%RT Ec.1	%RT Ec.2	ANOVA
Inundadas					secas				
An04-Bac	N	40.66	52.94	N/A	An01-Bac		45.31	48.57	
					An03-Bac		44.13	57.14	
					An02-Flx	N	36.90	25.93	P>0.05
An04-Bac	P	47.62	60	N/A	An04-Flx		51.81	42.86	
					An05-Flx		49.79	48.39	
An04-Bac	K	35.76	47.62	N/A	An01-Bac		57.89	59.26	
					An03-Bac		4.55	21.21	
					An02-Flx	P	65.63	58.82	P>0.05
					An04-Flx		61.54	55.56	
					An05-Flx		65.22	62.07	
					An01-Bac		43.26	45	
					An03-Bac		46.15	60	
					An02-Flx	K	28.57	11.11	P>0.05
					An04-Flx		53.76	45.83	
					An05-Flx		58.23	55	

Tabla 10- Retranslocación de N, P y K (%) en *Pterocarpus* de áreas inundables (n=3) y *Pterocarpus* en áreas menos expuestas a inundación (secas) (n=3) calculadas Mediante (Ecuación 1)-%RT= 1- [%nutriente en hojas senescentes / %nutriente en hojas maduras] x100 y (Ecuación 2)-%RT= [(% de nutriente en hoja madura / (AFE hoja madura) - (% de nutriente en hoja senescente / AFE de hoja senescente)] / (% de nutriente en hoja madura / (AFE hoja madura) x 100 durante el mes de marzo 2011. Se expone la probabilidad P obtenida mediante la prueba ANOVA-factor simple.

<i>Pterocarpus</i>	Nutriente	%RT Ec.1	%RT Ec.2	ANOVA	<i>Pterocarpus</i>	Nutriente	%RT Ec.1	%RT Ec.2	ANOVA
Inundadas					secas				
Pt02-Bac	N	35.71	32.26	P>0.05	Pt01-Bac	N	38.71	58.06	P>0.05
Pt03-Bac		34.41	23.08		Pt03-Flx		46.39	21.74	
Pt02-Fl		30.18	39.29		Pt04-Flx		30.04	27.27	
Pt02-Bac	P	44.44	50	P>0.05	Pt01-Bac	P	53.85	68.75	P>0.05
Pt03-Bac		50	45.45		Pt03-Flx		76.92	65	
Pt02-Fl		54.55	59.09		Pt04-Flx		61.54	58.18	
Pt02-Bac	K	32.43	30.77	P>0.05	Pt01-Bac	K	11.39	37.76	P>0.05
Pt03-Bac		70.21	65.91		Pt03-Flx		71.03	57.14	
Pt02-Fl		65.45	69.09		Pt04-Flx		26.67	21.11	

Tabla 11- pH (n=5) y concentraciones totales de N, P y K (n=5) en los suelos de las áreas mitigadas. (*suelos en áreas inundables).

Muestra	pH	N(ppm)	P(ppm)	K(ppm)
*Muestra 1-FIX	7.37	1900	11.28	103
*Muestra 2-FIX	6.93	1900	17.24	77
Muestra 3-FIX	7.16	2100	11.28	117
Muestra 4-Fix	6.93	2800	7.52	118
Muestra 5-FIX	7.69	1600	5.78	89
Promedio	7.23	2060	10.62	100.8
Muestra 1-Bac	6.33	2000	6.55	95
Muestra 2-Bac	7.49	1900	18.17	107
Muestra 3-Bac	6.72	2100	10.6	146
*Muestra 4-Bac	7.15	1500	14.04	108
*Muestra 5-Bac	6.86	1400	11.41	95
Promedio	6.91	1780	12.15	110.20

FIGURAS




 - Área de estudio

Figura 1- Ciénaga Las Cucharillas y área de estudio.

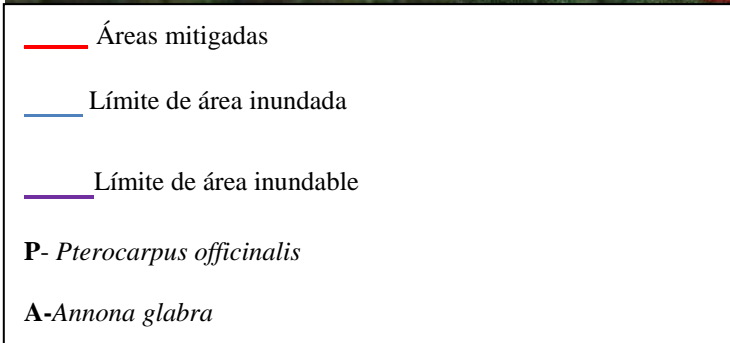
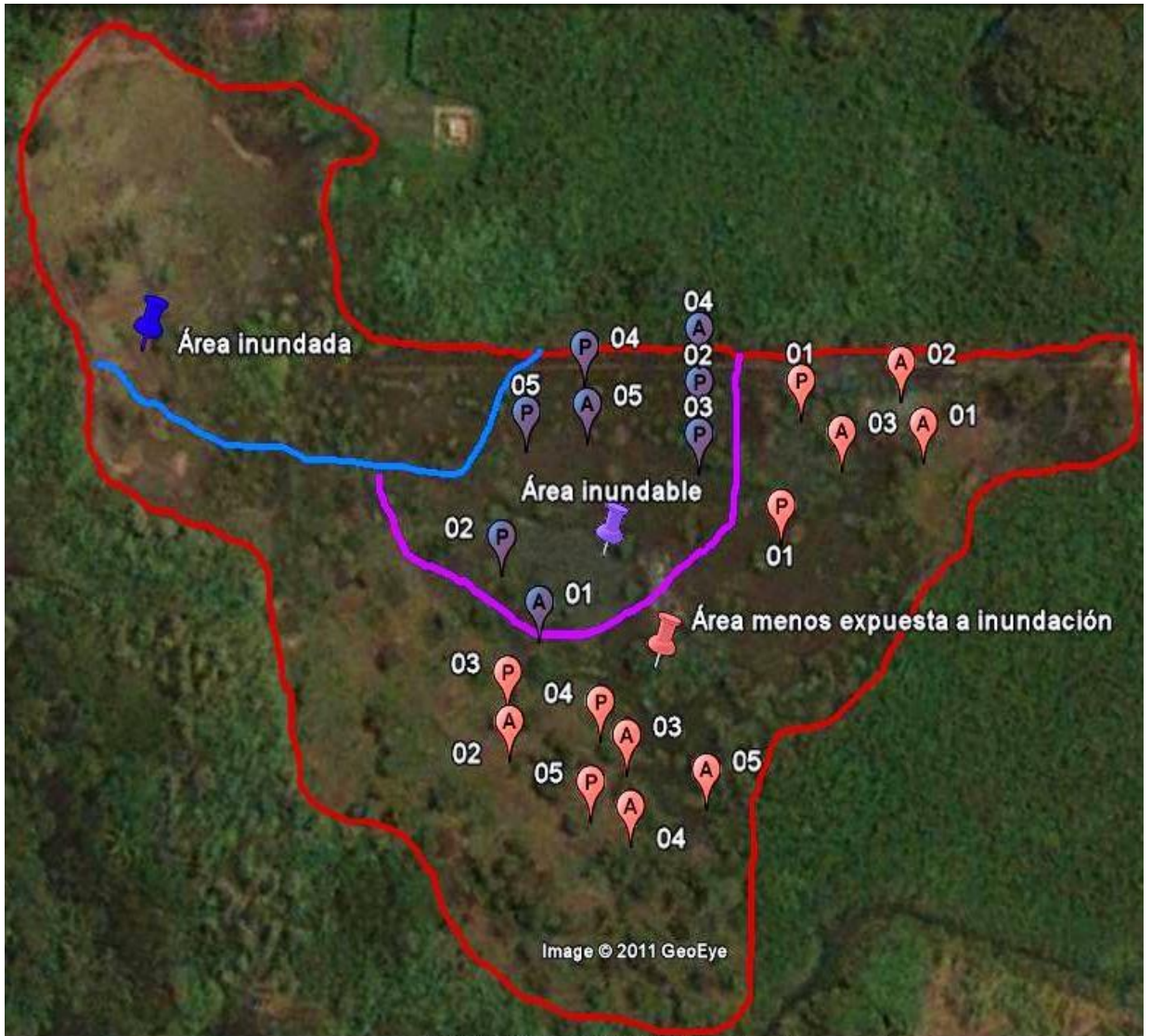


Figura 2- Área estudio y localización de las especies arbóreas muestreadas.

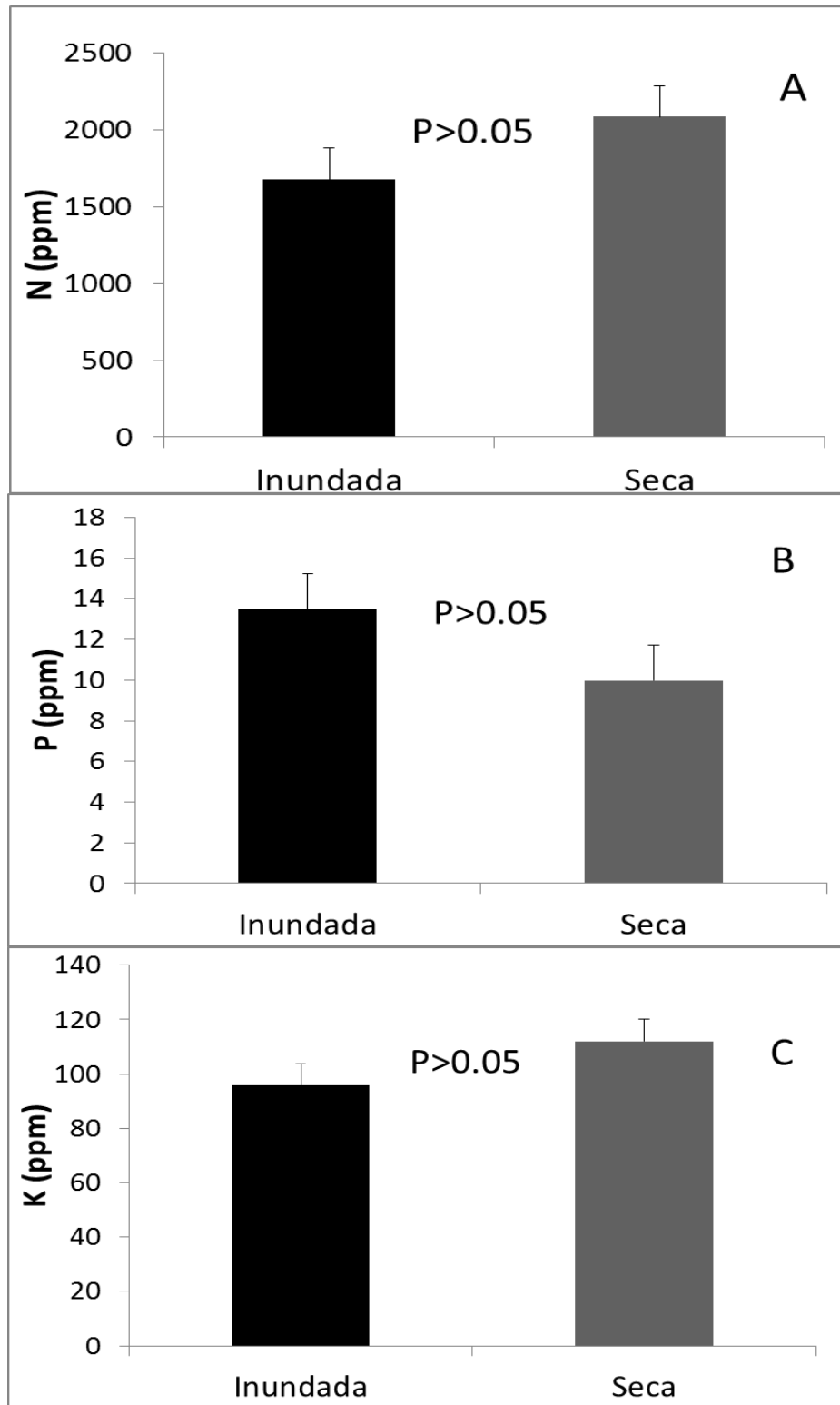


Figura 3- Comparación en las concentraciones de N, P y K (\pm SE) entre los suelos de áreas inundadas (n=4) y áreas menos expuestas a inundación (secas) (n=6). (A)-representa N, (B)-representa P y (C)-representa K. Se expone la probabilidad *P* obtenida mediante la prueba ANOVA-factor simple.

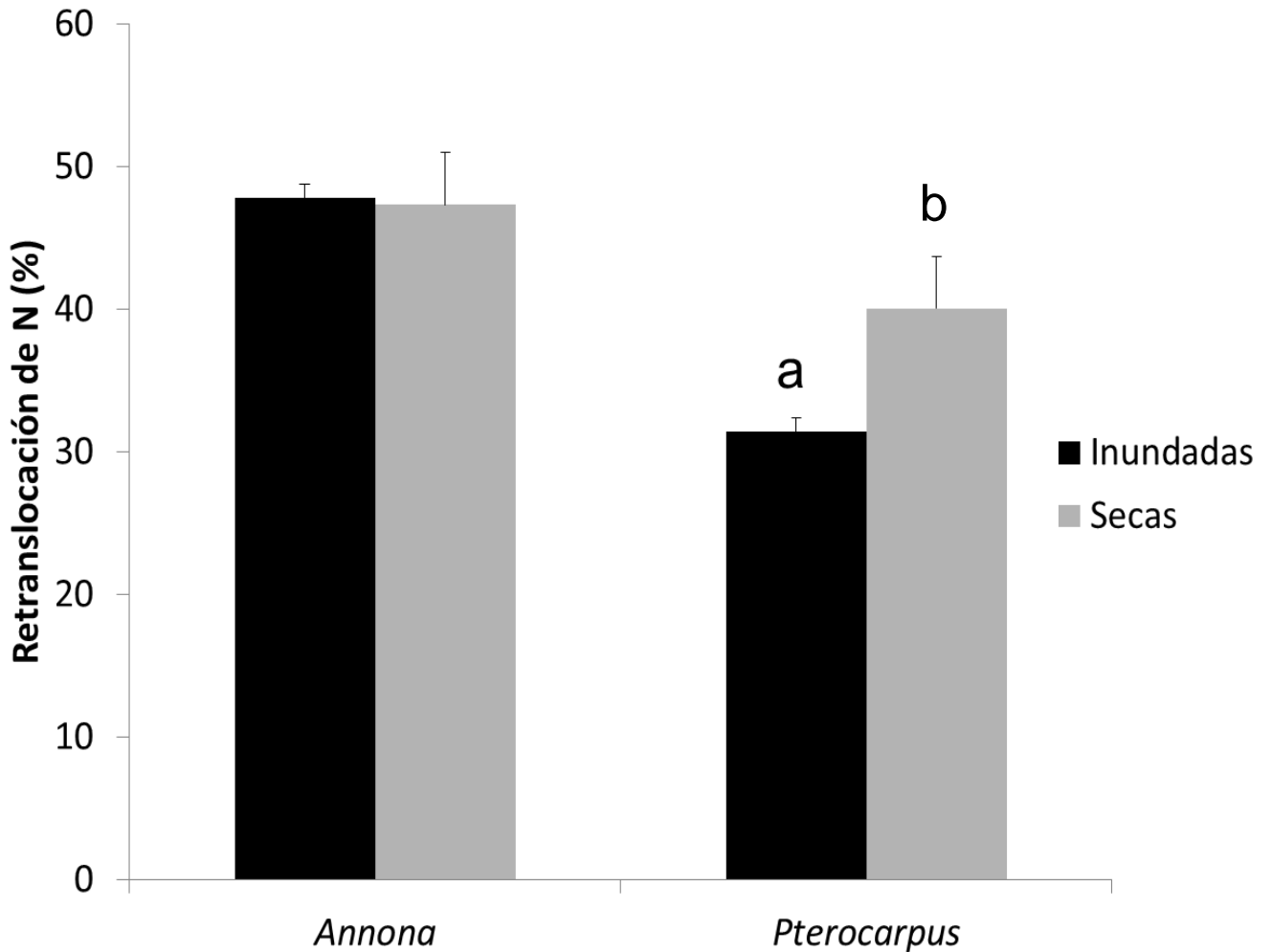


Figura 4- Retranslocación promedio de N (\pm SE) en *Annona* de áreas inundadas (n=3) vs. áreas secas (n=7) y retranslocación promedio de N (\pm SE) en *Pterocarpus* de áreas inundadas (n=5) vs. áreas secas (n=5). Las letras denotan diferencia significativa mediante la prueba ANOVA-factor simple ($\alpha \leq 0.05$).

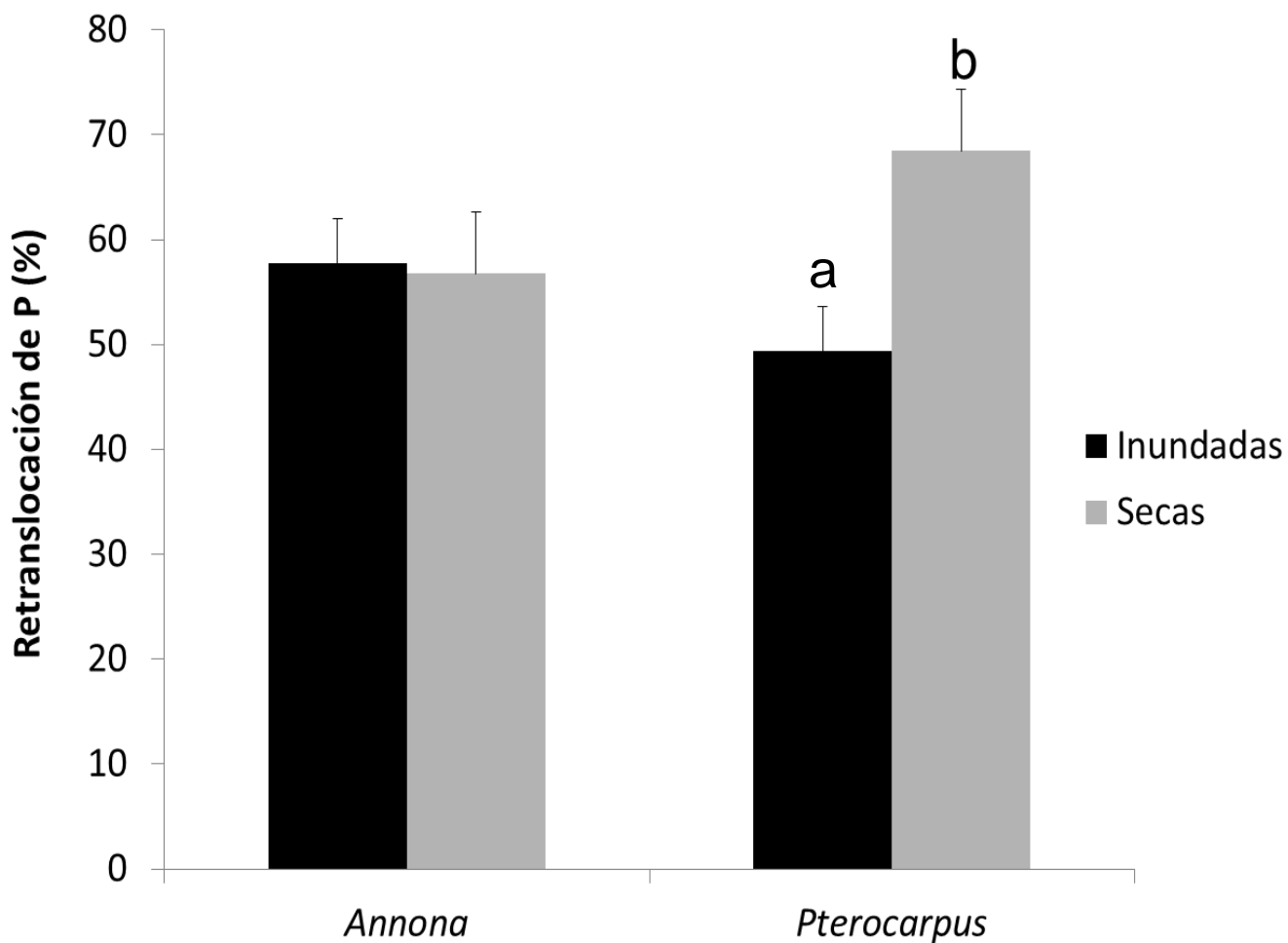


Figura 5- Retranslocación promedio de P (\pm SE) en *Annona* de áreas inundadas (n=3) vs. áreas secas (n=7) y retranslocación promedio de P (\pm SE) en *Pterocarpus* de áreas inundadas (n=5) vs. áreas secas (n=5). Las letras denotan diferencia significativa mediante la prueba ANOVA-factor simple ($\alpha \leq 0.05$).

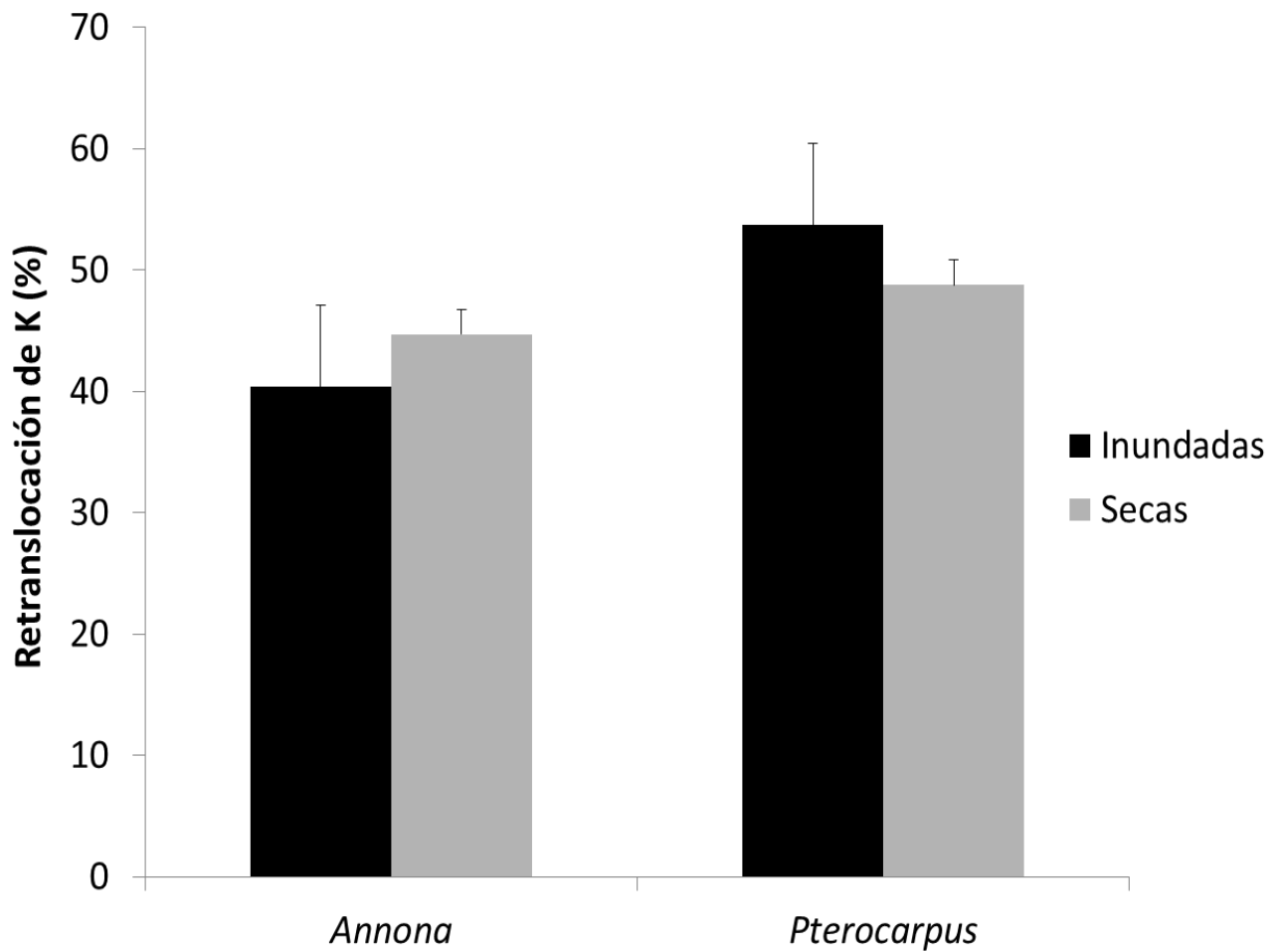


Figura 6- Retranslocación promedio de K (\pm SE) en *Annona* de áreas inundadas (n=3) vs. áreas secas (n=7) y retranslocación promedio de K (\pm SE) en *Pterocarpus* de áreas inundadas (n=5) vs. áreas secas (n=5).

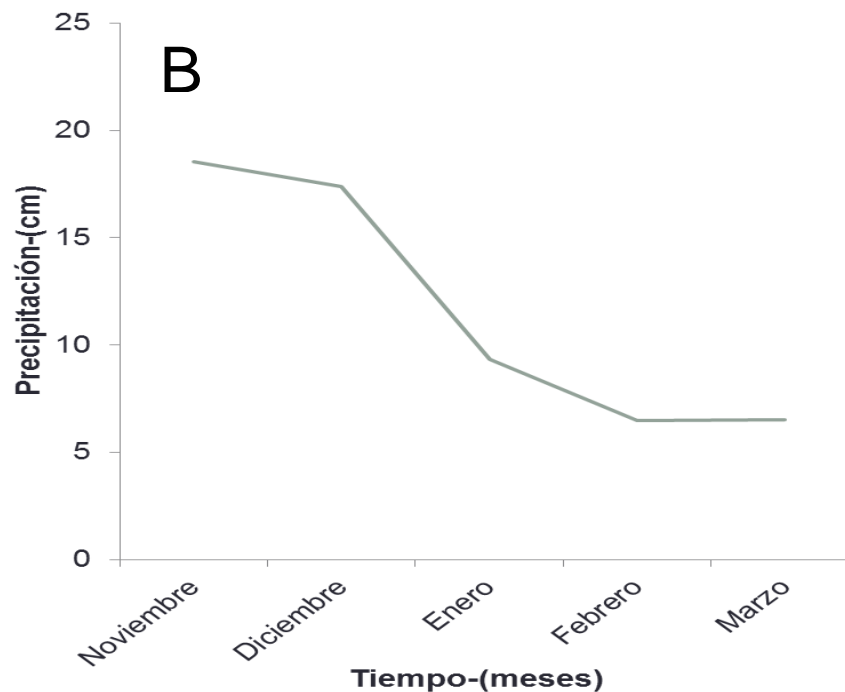
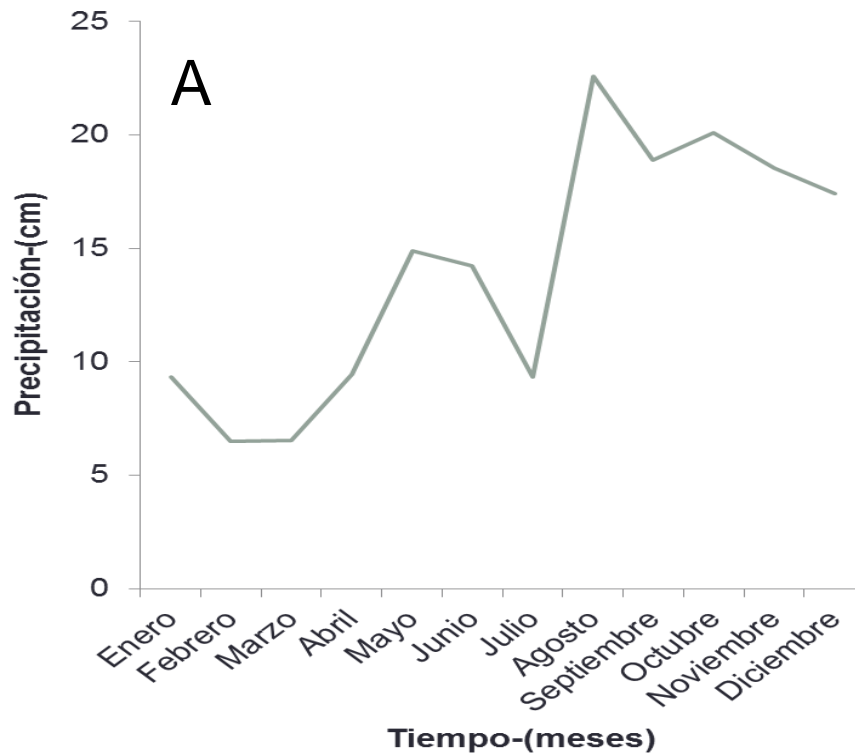


Figura 7- Variación temporal de la precipitación promedio (1971-2000) en la zona de Cataño. Los datos fueron registrado por la estación meteorológica, Cataño-(661845), del Centro Climatológico de la Región Sureste para el área de Puerto Rico e Islas Vírgenes. (A) representa la variación anual en la precipitación (n=12) y (B) representa la variación en la precipitación durante los meses que comprenden el periodo de estudio (n=5).

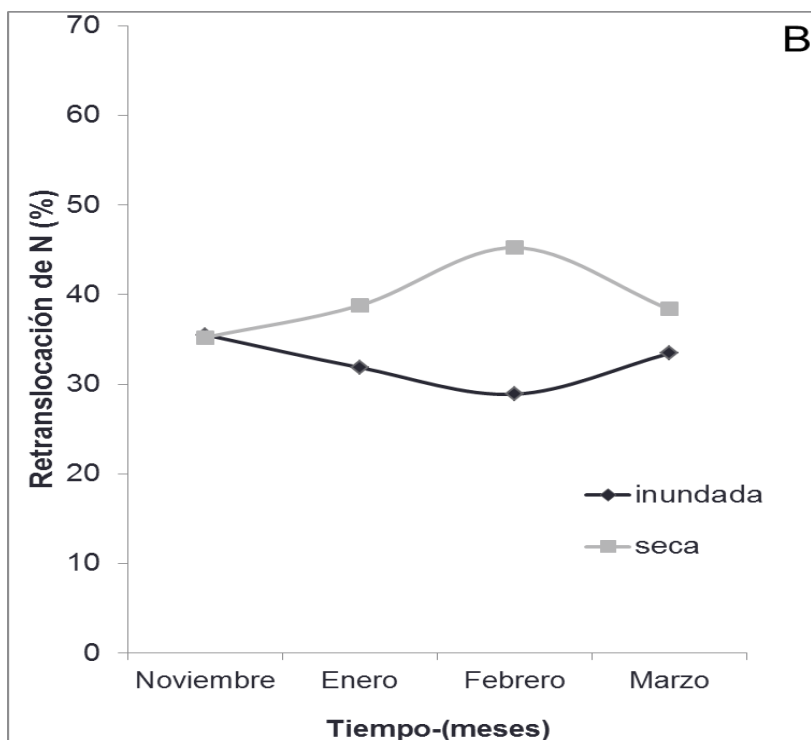
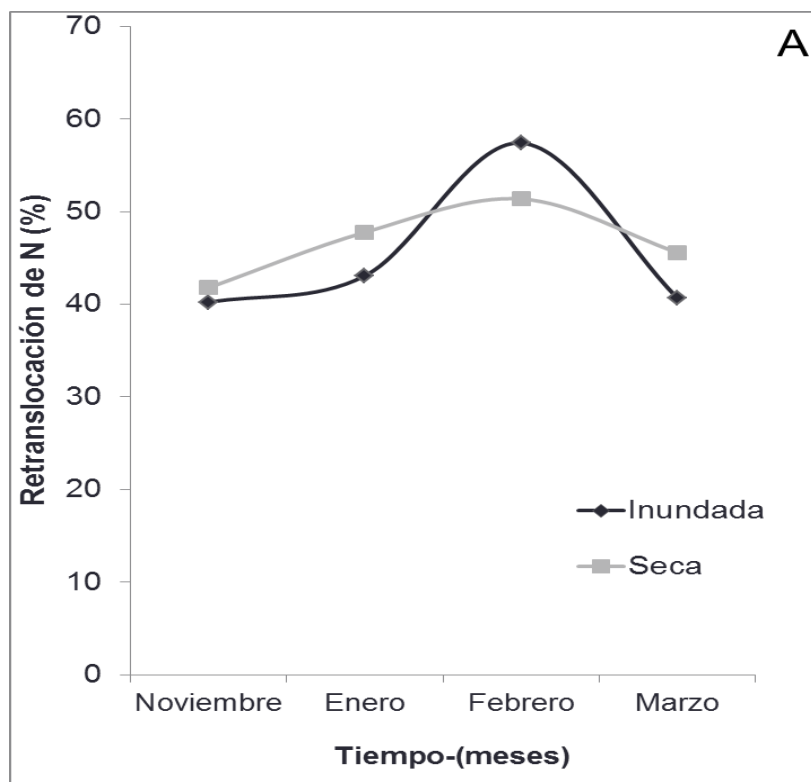


Figura 8- Retranslocación promedio de N en función del tiempo. (A) muestra la variación temporal de la retranslocación promedio de N para *Annona* (n=4) en áreas inundadas y secas. (B) muestra la variación temporal de la retranslocación promedio de N para *Pterocarpus* (n=4) en áreas inundadas y secas.

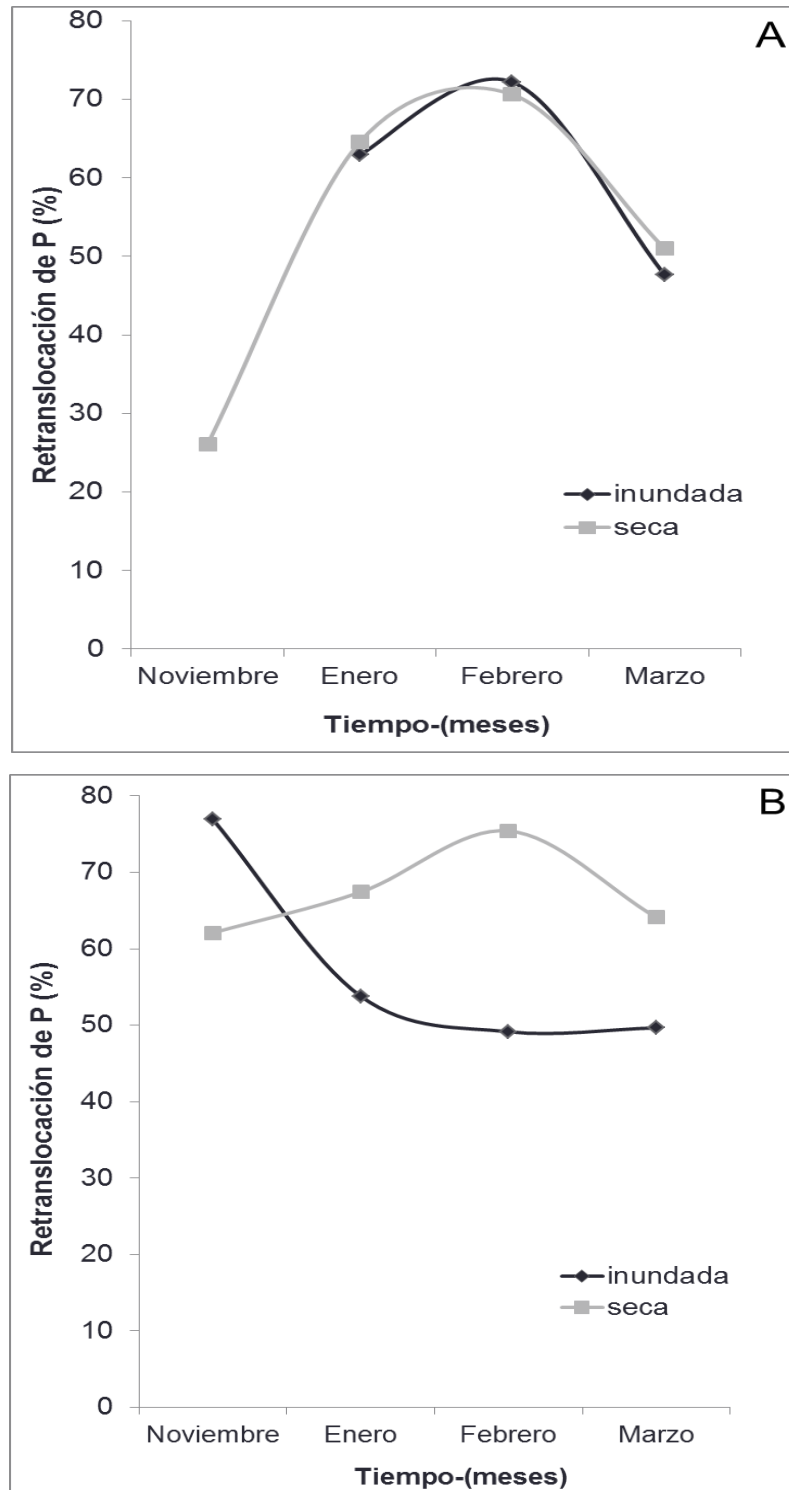


Figura 9- Retranslocación promedio de P en función del tiempo. (A) muestra la variación temporal de la retranslocación promedio de P para *Annona* (n=4) en áreas secas y *Annona* (n=3) en áreas inundadas. (B) muestra la variación temporal de la retranslocación promedio de P para *Pterocarpus* (n=4) en áreas inundadas y secas.

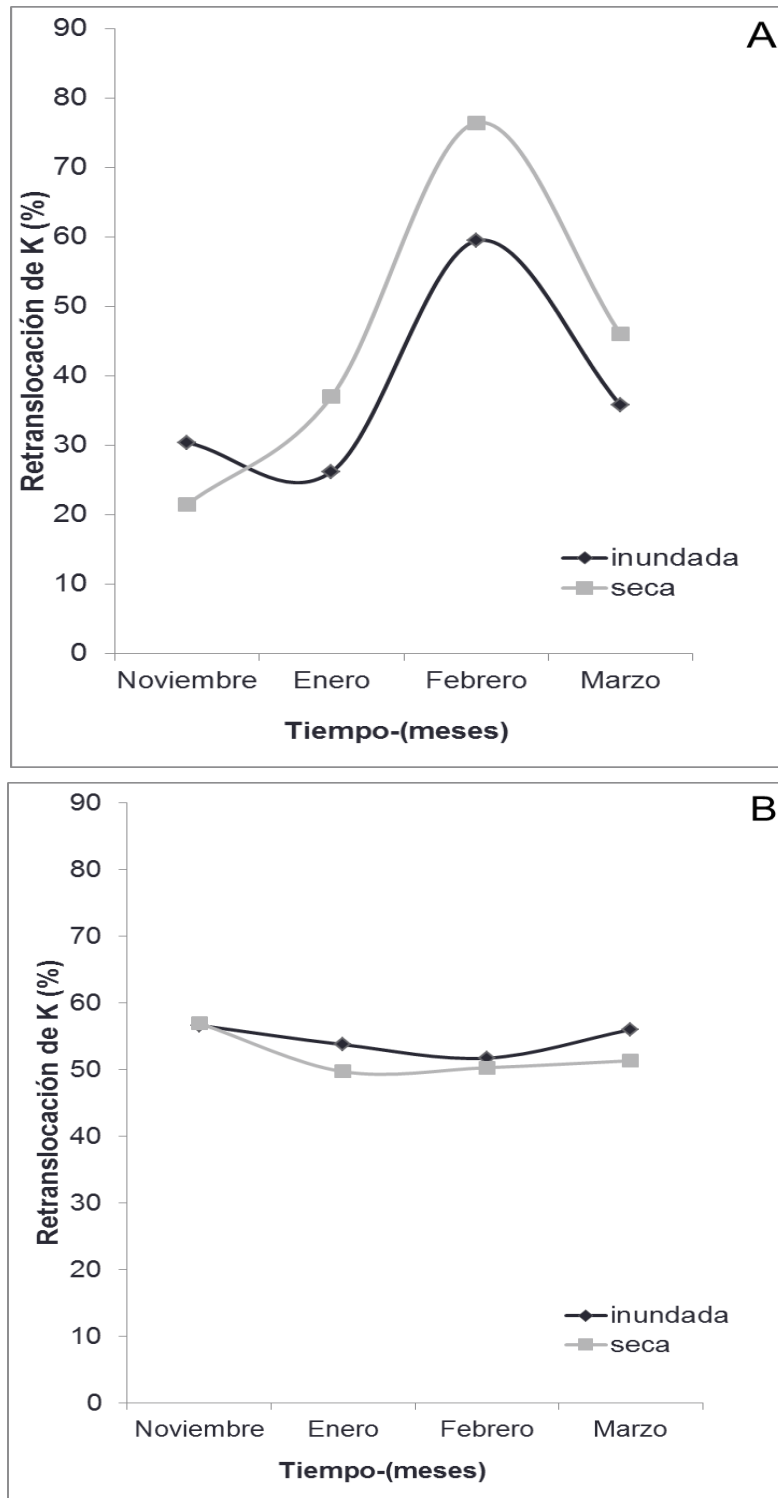


Figura 10- Retranslocación promedio de K en función del tiempo. (A) muestra la variación temporal de la retranslocación promedio de K para *Annona* (n=4) en áreas inundadas y secas. (B) muestra la variación temporal de la retranslocación promedio de K para *Pterocarpus* (n=4) en áreas inundadas y secas.

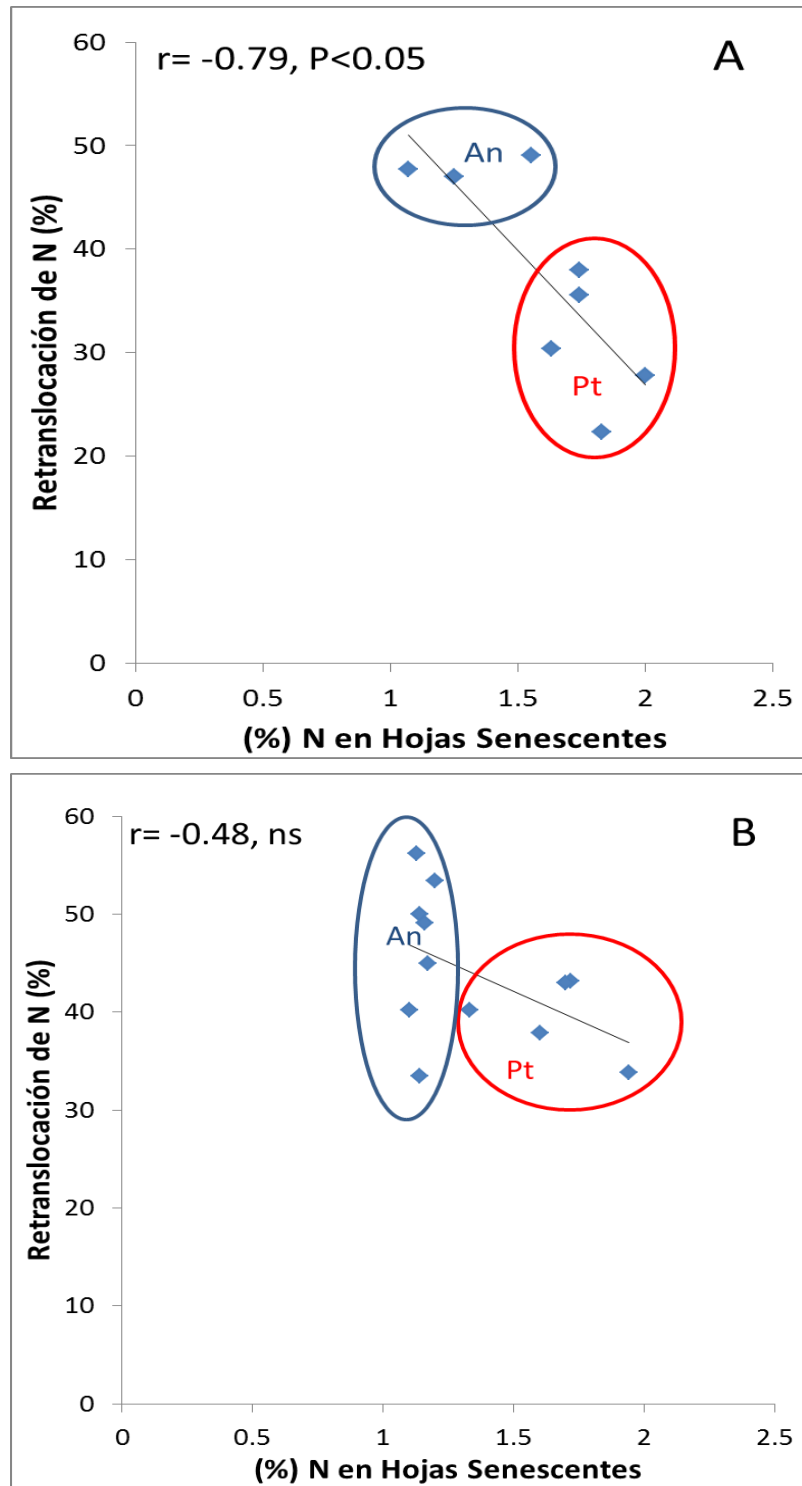


Figura 11- Retranslocación promedio de N en relación al contenido total de N (%) en las hojas senescentes de las especies *Annona* (*An*) ($n=3$) y *Pterocarpus* (*Pt*) ($n=5$) en áreas inundadas y *Annona* ($n=7$) y *Pterocarpus* ($n=5$) en áreas secas. (A) representa los individuos en áreas inundadas y (B) representa los individuos en áreas secas. Se muestra el valor del coeficiente de correlación *Pearson* (r) y la probabilidad P .

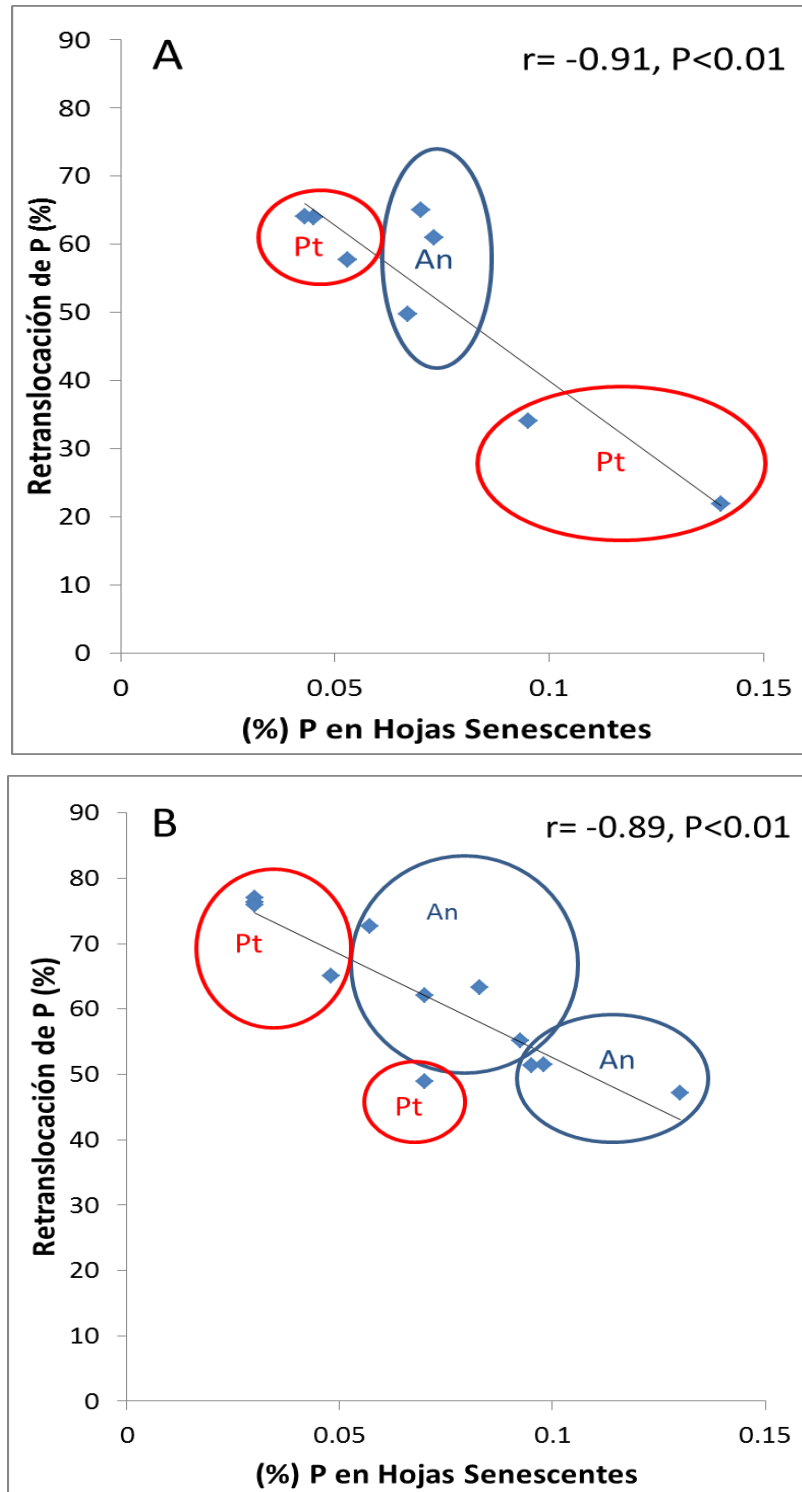


Figura 12- Retranslocación promedio de P en relación al contenido total de P (%) en las hojas senescentes de las especies *Annona* (*An*) ($n=3$) y *Pterocarpus* (*Pt*) ($n=5$) en áreas inundadas y *Annona* ($n=7$) y *Pterocarpus* ($n=5$) en áreas secas. (A) representa los individuos en áreas inundadas y (B) representa los individuos en áreas secas. Se muestra el valor del coeficiente de correlación *Pearson* (r) y la probabilidad P .

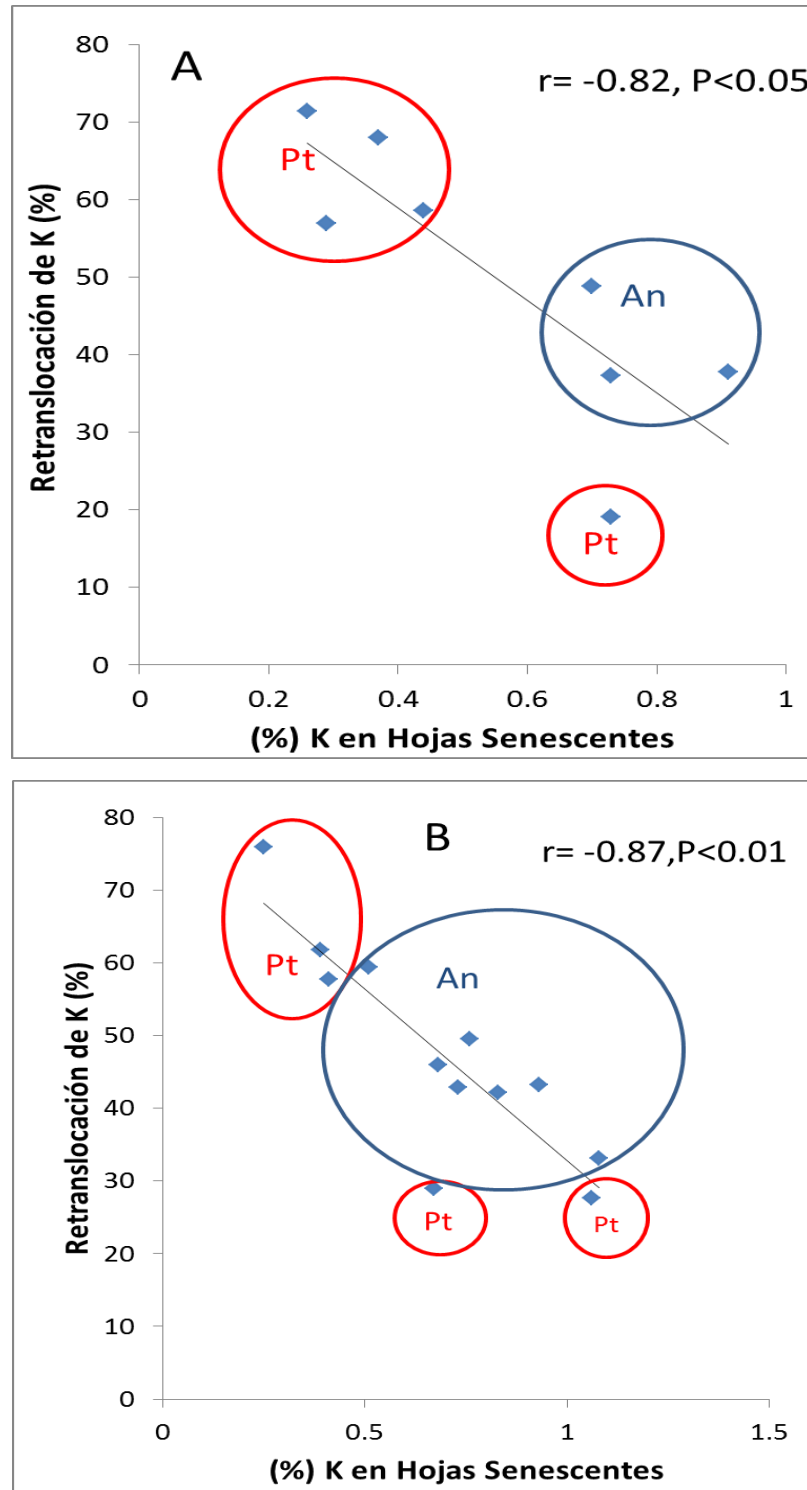


Figura 13- Retranslocación promedio de K en relación al contenido total de K (%) en las hojas senescentes de las especies *Annona* (An) ($n=3$) y *Pterocarpus* (Pt) ($n=5$) en áreas inundadas y *Annona* ($n=7$) y *Pterocarpus* ($n=5$) en áreas secas. (A) representa los individuos en áreas inundadas y (B) representa los individuos en áreas secas. Se muestra el valor del coeficiente de correlación *Pearson* (r) y la probabilidad P .

APÉNDICES

Apéndice 1



Pterocarpus officinalis
Foto tomada por: Wilmer Rivera el 13 de enero de 2011

Apéndice 2



Annona glabra
Foto tomada por: Wilmer Rivera el 13 de enero de 2011

Apéndice 3



***Recolección del material foliar
Foto tomada por: Wilmer Rivera el 17 de febrero de 2011***

Apéndice 4



***Recolección de hojas senescentes
Foto tomada por: Wilmer Rivera el 17 de febrero de 2011***

Apéndice 5

Annona glabra



Pterocarpus officinalis



Muestra de hojas senescentes de las especies arbóreas bajo estudio

Apéndice 6

Annona glabra



Pterocarpus officinalis



Muestra de hojas maduras de las especies arbóreas bajo estudio

Apéndice 7

Resultados oficiales del Laboratorio Agrológico-Tejido Foliar

Estimado señor: Rivera

Estamos incluyendo los resultados analíticos de las muestras de tejido foliar
del pueblo de _____, recibidas en el Laboratorio el día 23 de noviembre de 2010
Estas muestras pertenecen a: _____

INFORME DE ANALISIS

ANALISIS

Núm. Lab.	Identificación	%N	%P	%K			
30774	20/nov./10-hojas vivas-An 001flx	1.94	0.11	1.12			
30775	20/nov./10-hojas senecidas-An 001flx	1.16	0.10	0.78			
30776	20/nov./10-hojas vivas-An 002flx	1.83	0.11	1.14			
30777	20/nov./10-hojas senecidas-An 002flx	1.19	0.10	1.22			
30778	20/nov./10-hojas vivas-An 003flx	2.13	0.15	0.89			
30779	20/nov./10-hojas senecidas-An 003flx	1.24	0.10	1.09			
30780	20/nov./10-hojas vivas-An 004flx	2.11	0.14	1.16			
30781	20/nov./10-hojas senecidas-An 004flx	1.20	0.10	0.97			
30782	20/nov./10-hojas vivas-An 005flx	2.20	0.15	1.20			
30783	20/nov./10-hojas senecidas-An 005flx	1.16	0.10	0.72			
30784	20/nov./10-hojas vivas-Pt 001flx	3.59	0.16	1.39			
30785	20/nov./10-hojas senecidas-Pt 001flx	2.29	0.01	0.29			
30786	20/nov./10-hojas vivas-Pt 002flx	3.21	0.13	0.90			
30787	20/nov./10-hojas senecidas-Pt 002flx	2.07	0.03	0.39			
30788	20/nov./10-hojas vivas-Pt 003flx	3.32	0.12	1.06			
30789	20/nov./10-hojas senecidas-Pt 003flx	2.61	0.04	0.48			
30790	20/nov./10-hojas vivas-Pt 004flx	3.41	0.14	1.43			
30791	20/nov./10-hojas senecidas-Pt 004flx	1.77	0.10	0.90			

Fecha : 14 diciembre 2010

Analista: S. Cascoquillo

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

m. Carmen H. Zayas
Lcda. Carmen H. Zayas
Directora Laboratorio Agrológico
Alonso Torres
Lic. #2059
ESTADO LIBRE ASOCIADO DE PUERTO RICO
QUIMICO LICENCIADO

Estimado señor: Rivera

Estamos incluyendo los resultados analíticos de las muestras de tejido foliar
del pueblo de _____, recibidas en el Laboratorio el día 18 de enero de 2011
Estas muestras pertenecen a: _____

INFORME DE ANALISIS

ANALISIS

Núm. Lab.	Identificación	%N	%P	%K			
30822	17/jan/2011-hojas vivas-An001-Bac	1.69	0.10	0.78			
30823	17/jan/2011-hojas senecidas-An001-Bac	1.13	0.02	0.26			
30824	17/jan/2011-hojas vivas-An002-Bac	1.84	0.12	1.00			
30825	17/jan/2011-hojas senecidas-An002-Bac	1.15	0.06	0.76			
30826	17/jan/2011-hojas vivas-An003-Bac	2.22	0.16	1.12			
30827	17/jan/2011-hojas senecidas-An003-Bac	1.09	0.06	0.75			
30828	17/jan/2011-hojas vivas-An004-Bac	2.21	0.17	1.41			
30829	17/jan/2011-hojas senecidas-An004-Bac	1.20	0.05	0.85			
30830	17/jan/2011-hojas vivas-An005-Bac	1.96	0.12	1.15			
30831	17/jan/2011-hojas senecidas-An005-Bac	1.15	0.05	0.86			
30832	17/jan/2011-hojas vivas-Pt001-Bac	2.64	0.14	1.19			
30833	17/jan/2011-hojas senecidas-An001-Bac	1.77	0.10	0.75			
30834	17/jan/2011-hojas vivas-Pt002-Bac	2.45	0.14	1.05			
30835	17/jan/2011-hojas senecidas-An002-Bac	1.90	0.11	0.84			
30836	17/jan/2011-hojas vivas-Pt003-Bac	2.79	0.13	0.97			
30837	17/jan/2011-hojas senecidas-An003-Bac	1.90	0.05	0.30			
30838	17/jan/2011-hojas vivas-Pt004-Bac	2.69	0.15	1.34			
30839	17/jan/2011-hojas senecidas-An004-Bac	1.97	0.08	0.37			
30840	17/jan/2011-hojas vivas-Pt005-Bac	2.39	0.14	1.18			

Fecha : 8 febrero / 2011

Analista: A Casagüello

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

Carmen D. Alonso Torres
Lcda. Carmen D. Alonso Torres
Sub-Directora Laboratorio Agrológico
Lic. #2059
ESTADO LIBRE ASOCIADO DE PUERTO RICO
QUIMICO LICENCIADO

Estimado señor: Rivera

Estamos incluyendo los resultados analíticos de las muestras de tejido foliar
del pueblo de _____, recibidas en el Laboratorio el día 15 de febrero de 2011
Estas muestras pertenecen a: _____

INFORME DE ANALISIS

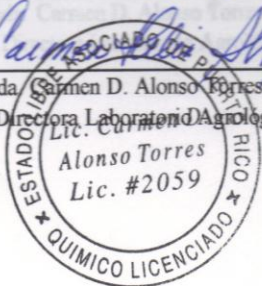
ANALISIS

Núm. Lab.	Identificación	%N	%P	%K			
30904	13feb/11-hojas vivas-An001Flx	2.57	0.30	1.63			
30905	13feb/11-hojas senecidas-An001Flx	1.01	0.06	0.52			
30906	13feb/11-hojas vivas-An002Flx	2.37	0.47	2.23			
30907	13feb/11-hojas senecidas-An002Flx	0.99	0.09	0.62			
30908	13feb/11-hojas vivas-An003Flx	2.59	0.29	1.82			
30909	13feb/11-hojas senecidas-An003Flx	1.06	0.08	0.62			
30910	13feb/11-hojas vivas-An004Flx	2.27	0.25	1.51			
30911	13feb/11-hojas senecidas-An004Flx	1.02	0.11	0.57			
30912	13feb/11-hojas vivas-An005Flx	2.32	0.23	1.29			
30913	13feb/11-hojas senecidas-An005Flx	1.15	0.10	0.61			
30914	13feb/11-hojas vivas-Pt001Flx	2.50	0.12	0.75			
30915	13feb/11-hojas senecidas-Pt001Flx	1.90	0.05	0.18			
30916	13feb/11-hojas vivas-Pt002Flx	2.33	0.12	0.44			
30917	13feb/11-hojas senecidas-Pt002Flx	1.87	0.06	0.24			
30918	13feb/11-hojas vivas-Pt003Flx	2.91	0.14	0.66			
30919	13feb/11-hojas senecidas-Pt003Flx	0.91	0.01	0.33			
30920	13feb/11-hojas vivas-Pt004Flx	3.19	0.15	1.79			
30921	13feb/11-hojas senecidas-Pt004Flx	1.48	0.02	1.24			
30922	13feb/11-hojas vivas-Pt005Flx	1.64	0.12	0.78			

Fecha: 16 marzo / 2011

Analista: Arina Canasquillo

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

Arina Canasquillo
Lcda. Carmen D. Alonso Torres
Sub-Directora Laboratorio Agrológico
Alonso Torres
Lic. #2059


Estimado señor: Rivera

Estamos incluyendo los resultados analíticos de las muestras de tejido foliar
del pueblo de _____, recibidas en el Laboratorio el día 8 de marzo de 2011
Estas muestras pertenecen a: _____

INFORME DE ANALISIS

ANALISIS

Núm. Lab.	Identificación	%N	%P	%K			
31004	7/marzo/11- hojas vivas-An002Flx	2.52	0.32	1.75			
31005	7/marzo/11- hojas senecidas-An002Flx	1.59	0.11	1.25			
31006	7/marzo/11- hojas vivas-An004Flx	2.49	0.26	1.73			
31007	7/marzo/11- hojas senecidas-An004Flx	1.20	0.10	0.80			
31008	7/marzo/11- hojas vivas-An005Flx	2.43	0.23	1.58			
31009	7/marzo/11- hojas senecidas-An005Flx	1.22	0.08	0.66			
31010	7/marzo/11- hojas vivas-Pt002Flx	2.75	0.11	0.55			
31011	7/marzo/11- hojas senecidas-Pt002Flx	1.92	0.05	0.19			
31012	7/marzo/11- hojas vivas-Pt003Flx	2.91	0.13	1.07			
31013	7/marzo/11- hojas senecidas-Pt003Flx	1.56	0.03	0.31			
31014	7/marzo/11- hojas vivas-Pt004Flx	1.77	0.13	1.05			
31015	7/marzo/11- hojas senecidas-Pt004Flx	2.53	0.05	0.77			
31016	7/marzo/11- hojas vivas-An001Bac	2.45	0.19	1.41			
31017	7/marzo/11- hojas senecidas-An001Bac	1.34	0.08	1.12			
31018	7/marzo/11- hojas vivas-An003Bac	2.81	0.22	1.69			
31019	7/marzo/11- hojas senecidas-An003Bac	1.57	0.23	1.40			
31020	7/marzo/11- hojas vivas-An004Bac	2.41	0.21	1.51			
31021	7/marzo/11- hojas senecidas-An004Bac	1.43	0.11	1.59			
31022	7/marzo/11- hojas vivas-Pt001Bac	2.48	0.13	0.79			

Fecha : 29 marzo / 2011

Analista: S Canasquillo

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

Ledys Carmen D. Alonso Torres
Ledy Carmen D. Alonso Torres
Sub-Directora Laboratorio Agrológico
Alonso Torres
Lic. #2059
ESTADO LIBRE ASOCIADO DE PUERTO RICO
QUIMICO LICENCIADO

Apéndice 8

Resultados oficiales del Laboratorio Agrológico-Suelo

