

Perspectivas

en asuntos ambientales

Revista Profesional
de la Escuela de
Asuntos Ambientales

volumen 2 – 2013

Reserva Natural Ciénaga Las Cucharillas



Imagen 2010.

En esta edición

Investigación participativa en la ciénaga
Las Cucharillas, Cataño

Plan de adquisición de terrenos en la ciénaga
Las Cucharillas

Evaluación del Proyecto *Puerto Rico Geomodel*

Composición de aves acuáticas en la laguna Secreta

Comunidad de mariposas en la Reserva Natural
Ciénaga Las Cucharillas

Presencia de bifenilos policlorados en la ciénaga
Las Cucharillas

Presencia de metales pesados en la ciénaga Las Cucharillas

9

Perspectivas
en asuntos ambientales



Perspectivas

en asuntos ambientales

La revista *Perspectivas en Asuntos Ambientales* (PAA) es un organismo informativo de la Escuela de Asuntos Ambientales (EAA) de la Universidad Metropolitana en el que estudiantes, profesores y colaboradores diseminan sus trabajos relacionados con el tema ambiental. El foro incluye trabajos producto de tesis, tesinas y proyectos de planificación ambiental, así como evaluaciones de programas implantados e investigaciones de profesores que aborden los asuntos ambientales. También incluye ensayos de opinión o perspectivas sobre los asuntos ambientales. Estos componentes enmarcan la tónica de lo que en principio será la función de la revista como instrumento de difusión y foro de discusión.

La EAA aporta hacia la capacitación de profesionales, el desarrollo de la conciencia ambiental y la solución de problemas ambientales que enfrenta nuestra sociedad a través de sus componentes académicos, investigativos y proyectos de impacto comunitario y educación profesional. Incluye los programas graduados de Maestría en Ciencias en Gerencia Ambiental, Maestría en Planificación Ambiental y Maestría en Artes en Estudios Ambientales. Además, contamos con centros de adiestramiento especializado, certificados profesionales e investigación como el Instituto de Educación Ambiental, Atlantic OSHA Training Center, el Centro de Estudios para el Desarrollo Sustentable (CEDES), el Laboratorio de Química, Ambiental y Toxicología Molecular (ChemTox), Estación de Investigación Las Cucharillas, y el Photonics Laboratory.

PAA (ISSN 2167-4752 impreso; ISSN 2167-6828 en línea) se publica anualmente. Para los detalles de color en los gráficos y fotos, favor de remitirse al documento en PDF en línea en nuestra página: <http://www.suagm.edu/umet/perspectivas/index.asp>. Las instrucciones para autores que desean someter artículos se encuentran disponibles en línea bajo la misma dirección electrónica. Dirija su correspondencia a través del correo electrónico: perspectivasaa@suagm.edu.



Foto portada

Vista aérea de la Reserva Ciénaga Las Cucharillas en Cataño, Puerto Rico
Foto Departamento de Recursos Naturales y Ambientales

Descargo de responsabilidad

La EAA no se responsabiliza por la precisión de hechos y opiniones aquí presentadas o por omisiones en la utilización de fuentes primarias en el contenido de los artículos de los autores que colaboraron en esta edición. El lector debe hacer su propia evaluación en términos de cuán apropiado es el contenido y los métodos utilizados.

Diseño gráfico: Lorian Dávila Martínez • loridavila@gmail.com

Impresión

Han sido posible gracias a fondos federales combinados del proyecto *Puerto Rico Geomodel* de la Escuela de Asuntos Ambientales de la Universidad Metropolitana auspiciado por la National Science Foundation (NSF-GEO-0703664), y de Título V Graduado *Promoting Postbaccalaureate Opportunities for Hispanic Americans* del Centro de Estudios Graduados de la Universidad Metropolitana (P031M090022).

Derechos de Autor 2013. Sistema Universitario Ana G. Méndez. Prohibida la reproducción total o parcial de los textos y fotografías incluidos en la revista, sin previa autorización de sus autores y la EAA.

volumen 2 - 2013

ISSN 2167-4752 (Impreso)

ISSN 2167-6828 (En línea)

COMITÉ EDITORIAL

María Calixta Ortiz, MSEM, Ph.D.(c), Editora en Jefe

José Orlando García, MP, PPL, ABD

Christian Vélez, MSEM

Juan Carlos Musa, Ph.D.

Carlos R. Morales, MSEM

Selinette Álvarez Rodríguez, MSEM

Luis Colón, BS

CONSEJO ASESOR

Carlos M. Padín Bibiloni, Ph.D., Director

Yvonne Guadalupe, Relaciones Públicas

Alex Rodríguez, MBA

Carlos R. Morales, MSEM

Luis Colón, BS

Universidad Metropolitana
PO Box 21150, San Juan, PR 00928

Formato para citar esta revista:

Apellidos, I.I. (2013). Título del artículo. *Perspectivas en Asuntos Ambientales*, 2(1), 1-162.

CONTENIDO TEMÁTICO

Editorial

- Investigación participativa comunitaria en la ciénaga Las Cucharillas7
María Calixta Ortiz, MSEM, Ph.D.(c)

Comentario

- Perspectiva histórica de la ciénaga Las Cucharillas.....14
Carlos R. Morales-Agrinzoni, MSEM

Ensayo programático

- Ciénaga Las Cucharillas: Un tesoro ecológico en el estuario
 de la bahía de San Juan18
Jorge Bauzá-Ortega, Ph.D.

Proyecto de planificación

- Plan de adquisición de terrenos ciénaga Las Cucharillas26
Carlos R. Morales-Agrinzoni, MSEM & Carlos Padin-Bibiloni, Ph.D.

Ensayo programático

- Evaluación proyecto *Puerto Rico Geomodel*: investigación del cambio climático
 en la reserva natural ciénaga Las Cucharillas para mejorar la enseñanza de las
 ciencias terrestres y el aprovechamiento académico de k-16+45
Carlos R. Morales-Agrinzoni, MSEM

Ensayo investigativo

- Evaluación comparativa de dos mitigaciones realizadas en la ciénaga Las
 Cucharillas.....54
François Franceschini Lajara, MSEM & Juan C. Musa-Wasil, Ph.D.
- Composición de metales pesados en las hojas de mangle en la península La
 Esperanza, Cataño63
Carla L. Mejías Rivera, MSEM & Juan C. Musa Wasil, Ph.D.

Artículos originales

- Composición de aves acuáticas de la laguna Secreta en la ciénaga Las Cucharillas, Cataño67
Laura L. Fidalgo de Souza, MSEM & Jorge F Bauzá-Ortega, Ph.D., QE
- Estrategia de manejo para la comunidad de mariposas en el área mitigada en el antiguo cauce de río Bayamón de la Reserva Natural de la Ciénaga Las Cucharillas.....82
Patricia Sanz Martínez, MSEM, Carlos Morales-Agrinzoni, MSEM, Vicente Quevedo Bonilla, MS, María Calixta Ortiz, MSEM, Ph.D.(c)
- Estudio comparativo entre el perfil bacteriano de sedimento en la ciénaga Las Cucharillas y bahía de Jobos por medio de la técnica *Terminal Restriction Fragment Length Polymorphism*94
Ibis Melissa Román Guzmán, MSEM, Christian Vélez Gerena, MSEM, Beatriz Zayas, Ph.D. & Karlo Malavé Llamas, MS, Ph.D.(c)
- Eficiencia en el uso de nutrientes en especies arbóreas utilizadas en áreas de mitigación en la ciénaga Las Cucharillas109
Wilmer O. Rivera-De Jesús, MSEM, Árida Ortiz Sotomayor, Ph.D., O.J. Abelleira-Martínez, Ph.D., & Juan C. Musa-Wasil, Ph.D
- 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.....126
Joanne Negrón Caldero, MSEM, Harry Peña Ruiz, MSEM, Carlos R. Morales-Agrinzoni, MSEM, Beatriz Zayas, Ph.D.
- Evaluación de la presencia de metales pesados en la ciénaga Las Cucharillas138
Carlos J. Sotomayor Rivera, MSEM, Beatriz Zayas, Ph.D., Eduardo González, P.E., DEE, REM, CEA, Juan C. Musa-Wasil, Ph.D.
- Presencia de metales pesados en el área urbana asociada a la Reserva Natural Ciénaga Las Cucharillas149
Lourdes M. Febres Miranda, MSEM & Carlos Morales-Agrinzoni, MSEM

INVESTIGACIÓN PARTICIPATIVA COMUNITARIA EN LA CIÉNAGA LAS CUCHARILLAS

María Calixta Ortiz. MSEM, Ph.D.(c)¹

Editora en Jefe

Desde 2001 hasta la actualidad, la Escuela de Asuntos Ambientales ha desarrollado proyectos de gran impacto para las comunidades en Cataño, así como proyectos de investigación para la planificación, restauración y conservación de la ciénaga Las Cucharillas. Esta edición de la revista *Perspectivas en Asuntos Ambientales* (PAA) está dedicada a documentar los esfuerzos de más de una década de investigación científica; la educación ambiental de maestros, estudiantes y residentes; y al cabildeo y apoderamiento de las comunidades de Cataño.

Involucrar a los miembros de la comunidad en los procesos de investigación ha ganado reconocimiento como una herramienta importante para lograr mejores resultados en los proyectos de investigación (Flicker, Savan, Konenda, & Mildenerger, 2007). La Agencia para la Investigación en Salud y Calidad (AHRQ, por sus siglas en inglés) define este tipo de investigación participativa como un enfoque de la investigación en salud y medio ambiente destinado a aumentar el valor de la investigación para las comunidades que participan en un estudio (2009). La Investigación Participativa Basada en la Comunidad (CBPR, por sus siglas en inglés) involucra a los miembros de la comunidad, representantes de organizaciones e investigadores en todos los aspectos del proceso (Israel, Schulz, Parker & Becker, 2001).

El paso más importante en el acercamiento del CBPR es que las comunidades se organicen (Chávez, Minker, Wallerstein & Spencer, 2007). De acuerdo con este principio, las comunidades de Cataño se organizaron desde el 1990 para aprender a manejar sus necesidades, a trabajar en conjunto con las agencias gubernamentales, tanto locales y federales, para cabildar por proyectos y políticas de justicia ambiental en sus comunidades, al tiempo que colaboran con el sector privado en las iniciativas ambientales y proyectos basados en la comunidad. Estos esfuerzos de las comunidades de Cataño apoyan la descripción y los fundamentos del CBPR.

¹Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, PO Box 21150, San Juan, PR 00928, 787-766-1717; um_mortiz@suagm.edu

El enfoque CBPR requiere el desarrollo de una colaboración entre las comunidades, universidades, agencias gubernamentales y organizaciones no gubernamentales. Este enfoque multiorganizacional se concretó desde la fase inicial cuando varias agencias e instituciones se unieron al esfuerzo. En el 2002, cerca de \$3.4 de \$7 millones fueron asignados al proyecto de adquisición de tierras en la ciénaga Las Cucharillas como resultado de una demanda que la organización de Comunidades Unidas Contra la Contaminación (CUCCo) le ganó a la Autoridad de Energía Eléctrica (EPA, 2002). El objetivo del proyecto era preservar los espacios abiertos que permitieran reducir y prevenir la contaminación en la zona. Las comunidades de Cataño seleccionaron a la Escuela de Asuntos Ambientales (EAA) de la Universidad Metropolitana (UMET) como la institución que administraría los fondos del proyecto. A tales efectos, la EAA formó parte de un contrato con la Autoridad de Energía Eléctrica aprobado por la Agencia de Protección Ambiental. Otra de las instituciones que se unió al esfuerzo fue la Escuela de Ciencias Médicas de la Universidad de Puerto Rico, la cual fue seleccionada para investigar los aspectos epidemiológicos de las enfermedades respiratorias y los datos de cáncer en las comunidades en Cataño. Por su parte, el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) ha desarrollado proyectos que favorecen la conservación de los recursos naturales en la ciénaga Las Cucharillas por ser esta parte de los ecosistemas dentro de la cuenca hidrográfica del estuario de la bahía de San Juan. Para estos efectos, el Dr. Jorge Bauzá nos comenta en su ensayo el componente programático del PEBSJ que se desarrolla en Las Cucharillas.

En el inicio del proyecto, la EAA desarrolló el plan de adquisición de terrenos para la ciénaga Las Cucharillas, finalizado en el 2004. Este plan enmarcó estrategias encaminadas a la adquisición de las tierras y proyectos de restauración, conservación y educación ambiental en la ciénaga Las Cucharillas (Tabla 1). Estos proyectos son descritos en los artículos desarrollados por el gerente ambiental Carlos Morales. El plan de trabajo del proyecto de la EAA estableció como una prioridad el buscar fuentes adicionales de subvención para ampliar el impacto del proyecto. El enfoque CBPR requiere la búsqueda de fuentes que financien el mantenimiento de la infraestructura necesaria que sustentan los esfuerzos iniciales. Las instituciones académicas están en buena posición para buscar estos fondos, ya que poseen el personal necesario con experiencia para manejar grandes presupuestos (Israel et al., 2001).

Tabla 1

Proyectos de adquisición de terrenos, restauración, conservación y educación ambiental en la ciénaga Las Cucharillas

Proyectos	Año	Descripción
Adquisición de Terrenos		
Proyecto Ambiental Suplementario Bacardí	2006	Donación de 10 acres en el Antiguo cauce del río Bayamón a UMET.
Proyecto Ambiental Suplementario Walmart	2007	Donación de \$90,000 al DRNA para la adquisición de terrenos en Cucharillas.
Proyecto Ambiental Suplementario Bacardí	2008	Donación de 2 acres en el antiguo cauce del río Bayamón a UMET.
Acuerdo Departamento de Recursos Naturales y la Compañía 3 Ríos, Inc.	2008	Donación de 6 cuerdas en el área de la laguna Secreta al DRNA y \$90,000 para la construcción de un mirador para observar aves.
Designación de la Reserva Natural Ciénaga Las Cucharillas	2008	Esta designación protege las dos secciones de la Ciénaga: el humedal herbáceo con la laguna la mano y la laguna Secreta. Además incluye el islote de la península La Esperanza y los remantes de humedal del antiguo cauce del río Bayamón.
Restauración y Conservación		
Mitigación de Bacardí	2006	Creación de 1.2 acres de humedal en el antiguo cauce del río Bayamón.
Mitigación de Flexitank	2006	Creación de 2.6 acres de humedal en el antiguo cauce del río Bayamón
Mitigación Maderas 3C	2008	Restauración de 1.2 acres de humedal en el antiguo cauce del río Bayamón.
Educación e Integración Comunitaria		
Ciénaga Las Cucharillas: Una experiencia educacional	2000	11 escuelas públicas de Cataño (estudiantes y maestros de ciencias y matemáticas)
Estudio de Percepción sobre Humedales	2002	Comunidades de Juana Matos, Puente Blanco, Cucharillas, William Fuertes.
Talleres Educativos Manejo de Desperdicios Sólidos	2003	Comunidad de Juana Matos y Puente Blanco
Taller: <i>Conoce las plantas y animales de la ciénaga Las Cucharillas</i>	2003	Escuela Elemental Rafael Cordero, Horace Mann, Isaac del Rosario, Teodoro Roosevelt, Puente Blanco, Rosendo Matienzo Cintrón.
1 ^{er} Simposio de Humedales	2003	Estudiantes, maestros de ciencias y público en general.
Estudio de Riesgo y Percepción sobre Inundaciones	2004	Comunidades de Juana Matos, Puente Blanco y Cucharillas.
1 ^{er} Congreso Internacional de Humedales: <i>De la Montaña al Mar los Humedales Trabajan para Nosotros</i>	2004	Estudiantes, maestros de ciencias, investigadores y público en general
Proyecto Educativo: <i>La Ciénaga Las Cucharillas, un Tesoro Escondido</i>	2004	Exhibición fotográfica de la ciénaga Las Cucharillas en el Capitolio durante del mes de abril.

Proyectos	Año	Descripción
Proyecto Plan Maestro: ciénaga Las Cucharillas	2004	Creación del C4 (Consejo Comunitario ciénaga Las Cucharillas). Participación de todas las comunidades de Cataño
Talleres sobre Humedales y el cambio Climático	2005	Maestros de Ciencia 11 escuelas públicas de Cataño
2 ^{do} Simposio de Humedales	2005	Estudiantes, maestros de ciencia y público en general
Proyecto Mi Escuela Reverdece	2006	Estación de aprendizaje en la escuela elemental Rafael Cordero.
Puerto Rico Wetland Foundation	2006	Entidad sin fines de lucro creada con el propósito de continuar con los esfuerzos de adquisición de fondos para la restauración y conservación de la ciénaga Las Cucharillas y el desarrollo de proyectos comunitarios.
Proyecto <i>Save the Wetland</i>	2006	Campaña publicitaria sobre la importancia de los humedales.
Proyecto <i>Puerto Rico Geomodel</i>	2007	Escuela Elemental Rafael Cordero, Intermedia Onofre Caballeira, Superior Francisco Oller. (estudiantes y maestros de ciencia)

Los procesos de cabildeo de las partes involucradas lograron que la Corporación Bacardí transfiriera a la Universidad Metropolitana 10 acres de tierras en la Ciénaga con un valor de \$1.2 millones para dedicarlos a la restauración y conservación de la zona (EPA, 2004). Otros dos acres de tierra fueron cedidos en el 2008, transferidos también por la corporación Bacardí para perpetuarlos como una zona de protección, y reducir y prevenir la contaminación. Estos terrenos adquiridos fueron dedicados a la investigación y la mitigación del humedal degradado. Finalmente, en el 2008 se logró la designación del humedal herbáceo, las lagunas La Mano y Secreta, el islote La Esperanza y los remanentes de humedal del antiguo cauce río de Bayamón.

Comprometidos con la búsqueda de fondos, la EAA desarrolló el proyecto *Puerto Rico Geomodel* a un costo de más de dos millones y financiado por la Fundación Nacional de Ciencias (NSF, por sus siglas en inglés). Este proyecto estimuló el estudio de las ciencias terrestres en seis escuelas del sistema de educación pública a nivel primario, intermedio y superior de los municipios de Caguas y Cataño. Del 2007 al 2012, los maestros y estudiantes de estas escuelas recibieron un componente de servicios en el área de educación ambiental, adiestramientos, talleres, materiales y equipo para adelantar el estudio de las ciencias terrestres en el currículo académico. La evaluación del proceso e impacto del proyecto *Geomodel* se encuentra bajo el componente programático institucional en el artículo escrito por Carlos Morales, quien participó como gerente del proyecto.

Como parte de los esfuerzos de investigación y mitigación, esta edición también recopila ocho estudios desarrollados por estudiantes del programa graduado de la EAA de la UMET (Figura 1). Incluimos la evaluación de las mitigaciones hechas en el 2006 y 2008 por la compañía Barcardí, Flexitank y Maderas 3C, tanto en los aspectos estructurales forestales, como en la productividad ecológica y aportación de nutrientes. También se incluyen estudios de la biodiversidad de bacterias en los suelos, aves y mariposas, así como la evaluación de la presencia de contaminantes como los metales pesados, bifenilos policlorados y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en los suelos. Estos estudios documentan y ofrecen las áreas de prioridad que deben ser consideradas en el manejo de la Reserva designada.



Figura 1. Áreas de investigación por categorías en la ciénaga Las Cucharillas

En el desarrollo de proyectos comunitarios es necesario establecer buenas relaciones con los miembros y líderes de la comunidad; dar conferencias en las escuelas y centros comunitarios; hablar con los pescadores y sociedad civil en general, entre otros esfuerzos. La relación desarrollada en 13 años entre las comunidades, las organizaciones de Cataño y la Escuela de Asuntos Ambientales perdura hasta nuestros días. La participación de la comunidad es fundamental en todas las etapas

de los proyectos para la colaboración y la participación equitativa de todos los socios (Flicker et al., 2007). De esta manera, los miembros y líderes de las organizaciones de la comunidad han participado en las audiencias públicas; en la planificación para la designación de las tierras como reserva natural; han acompañado a los investigadores en el campo para tomar datos, y han participado en las encuestas de salud ambiental. Como componente vital de la Investigación Participativa Comunitaria está el compartir y diseminar los resultados de los estudios entre la comunidad. Este es nuestro mayor compromiso, razón primordial por lo que dedicamos un mayor esfuerzo en esta edición especial de Las Cucharillas.

Referencias

- Agency for Healthcare Research Quality (2009). AHRQ activities using community-based participatory research to address health care disparities. Retrieved from <http://www.ahrq.gov/research/cbprbrief.pdf/>
- Chávez, V., Minkler, M., Wallerstein, N., & Spencer, M. S. (2007). Community organizing for health and social justice. In L. Cohen, V. Chávez, & S. Chehimi, *Prevention is primary: Strategies for community well-being* (pp. 95 – 117). San Francisco, CA: Jossey-Bass Publisher.
- Environmental Protection Agency. (2002, August 19). EPA announces plan to preserve and protect open space and marshland in the Cataño area. *News Released by Date*. Retrieved from <http://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/>
- Environmental Protection Agency. (2004, November 24). Property transfer in Cataño area adds valuable land for preservation to Las Cucharillas Marsh. *News Released by Date*. Retrieved from <http://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/>
- Flicker, S., Savan, B., Konenda, B., & Mildenerger, M. (2007). A snapshot of community-based research in Canada: Who? What? Why? How? *Health Education Research*, 1–9. Oxford University Press. Retrieved from http://sylvan.live.college.com/ec/courses/40116/CRS-0000-3640866/Articles/A_snapshot_community-based_research.pdf

Israel, B., Schulz, E. P., Parker, E. A., & Becker, A. B. (2001). Community-based participatory research: Recommendations for promoting a partnership approach in health research. *Education for Health, 14*(2), 182–197.

PERSPECTIVA HISTÓRICA DE LA CIÉNAGA LAS CUCHARILLAS

Carlos R. Morales-Agrinzoni, MSEM¹

Ubicada en gran parte del municipio de Cataño, cercana a la zona portuaria de la bahía de San Juan, uno de los principales puertos comerciales y turísticos en el Caribe, la ciénaga Las Cucharillas ha sido un ecosistema natural de gran importancia para lo que hoy día conocemos como la Región Metropolitana de San Juan. Por décadas, la Ciénaga ha sido un valioso recurso por su aportación ecológica, social y cultural, pero al mismo tiempo ha experimentado el impacto de las actividades humanas.

En el siglo XVI, estas tierras fueron regaladas a Don Hernando de Cataño por los servicios médicos que ofrecía en la Isleta de San Juan. Varios documentos de esa época describen esta área de la Bahía como un bosque de mangle denso y ciénagas profundas de imposible penetración, conocidas como las ciénagas de Cataño. En esa área solo existía un pequeño desembarcadero en la antigua desembocadura del río Bayamón, conocida como “Paloseco” (ubicado en la Punta de Cataño; no se refiere al actual Palo Seco). Este desembarcadero era la única ruta de comunicación, en rústicas lanchas, entre la isleta de San Juan, con el centro y oeste de la Isla. Ya para el 1860, con la construcción de la carretera desde el centro urbano de Bayamón hasta la punta del barrio de Cataño, comenzó a poblarse la zona, y se convirtió en una de importancia para el intercambio de bienes y servicios entre la isleta de San Juan y el resto de la Isla.

Las características ecológicas de estas áreas compuestas por ciénagas profundas y manglares espesos fueron de gran beneficio para los asentamientos urbanos de esa época. La abundancia de peces, jueyes, y otros animales marinos propiciaron la pesca como método de subsistencia. Además, los canales y cuerpos de agua que conectaban con la bahía facilitaron la transportación de productos a través de lanchas. Es por eso, que hoy día, a este municipio se le conoce culturalmente como el *Pueblo de los Lancharos*.

Sin embargo, pese a los múltiples beneficios económicos y sociales que este ecosistema brinda, estos asentamientos urbanos iniciaron la degradación de las zonas de manglar y ciénagas. Para el 1870, mediante una ordenanza del gobernador Francisco Pi y Margoll, se comenzó a secar y a rellenar las ciénagas de Cataño, lo

¹Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, PO Box 21150, San Juan, PR 787-766-1717; cmorales@suagm.edu

que facilitó el establecimiento de más zonas urbanas a lo largo de la carretera antes mencionada. Estos nuevos asentamientos traen como consecuencia la reducción de las áreas de humedal, la alteración de la hidrología en la zona, así como cambios en la vegetación y composición del suelo.

Para 1900, con el desarrollo de la línea férrea del oeste, el primer sistema de transportación entre San Juan, Cataño y Bayamón, la construcción de nuevos caminos y el establecimiento de un nuevo desembarcadero en la Punta de Cataño, esta región se convirtió en una de las zonas de mayor importancia económica para la Isla. Ya para el año 1920, esta zona tenía cinco fábricas: la fábrica de tabaco, la Fruit Exchange, almacenes de madera, la refinería de gas y el Varadero. Para el 1960, gran parte de los terrenos eran utilizados para la caña de azúcar y el ganado.

Cada uno de estos adelantos de progreso económico para la zona, contribuyeron grandemente al deterioro y reducción de las zonas de manglar y ciénagas que cubrían gran parte de la extensión territorial de Cataño. El relleno de las áreas de humedales para el establecimiento de asentamientos urbanos, industrias, carreteras y almacenes contribuyó grandemente al deterioro de la calidad de las aguas y los suelos, disminuyendo la capacidad del ecosistema como filtro de las aguas de escorrentías, atrapando los sedimentos y contaminantes antes de que llegaran a la bahía de San Juan. Por otro lado, las carreteras, industrias y residencias fueron reduciendo y fragmentando las áreas de manglar y ciénagas alterando las funciones ecológicas y reduciendo la capacidad del ecosistema como nicho y hábitat de especies de flora y fauna típicas de zonas de humedal.

Por otro lado, el relleno de humedales, la canalización de ríos y alteraciones a la cuenca hidrográfica de la zona fueron alterando la composición vegetativa del humedal, transformando el mismo a uno más herbáceo, dominado por la yerba Enea (*Typha domingensis*). Además, estas alteraciones ocasionan serios problemas de inundaciones y manejo de escorrentías poniendo en riesgo la seguridad y propiedad de los residentes de la zona.

A través del tiempo, en esta zona se instalaron alrededor de 65 fuentes puntuales, incluyendo una destilería de ron, las centrales eléctricas, refinerías de petróleo, plantas de tratamiento de aguas residuales, molinos de granos, plantas de cemento, almacenes, carreteras y varias plantas de producción. Las emisiones a la atmósfera de las refinerías y termoeléctrica establecida cerca de los asentamientos urbanos en el municipio de Cataño, ocasionaron serios problemas a la salud de los residentes, provocando un movimiento comunitario en contra de la contaminación.

Sin lugar a dudas, la lucha y el apoderamiento comunitario ha sido una herramienta clave en el manejo de los asuntos ambientales que han afectado a Cataño.

La participación comunitaria desde los inicios, liderada por la organización comunitaria Comunidades Unidas Contra la Contaminación (CUCCo), provocó que en el 1990 la Agencia de Protección Ambiental y las agencias del gobierno estatal pertinentes asumieran su rol fiscalizador e hicieran cumplir las leyes y reglamentos ambientales que impactaban al municipio de Cataño y pueblos limítrofes. Esta participación comunitaria creó un reclamo de justicia ambiental que sirvió de ejemplo a otras organizaciones comunitarias en Puerto Rico. Los alcances de este reclamo de justicia ambiental, motivaron a la fundación internacional Goldman con sede en San Francisco, California, a galardonar en el 2008 a Rosa Hilda Ramos, portavoz de CUCCo, con el Premio Ambiental Goldman. Este premio reconoce aquellas personas involucradas en campañas locales que logran obtener cambios positivos mediante la participación de la comunidad en los asuntos que afectan su bienestar.

La discusión de los impactos ocasionados por la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE) como resultado de las violaciones a las leyes federales y estatales de Aire Limpio, y la búsqueda de acciones para mitigar esos impactos, llevó a la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) a reconsiderar la forma en que se establecía el procesamiento de las multas y el pago de éstas. Como resultado de ese análisis, por primera vez en la historia de Puerto Rico y Estados Unidos, a partir del 2000 se creó un mecanismo para que parte del dinero destinado al pago de las multas, fuera utilizado en la creación de proyectos que beneficien de forma directa a las comunidades impactadas, y de alguna forma mitigaran el impacto ocasionado al ambiente. Ese mecanismo se conoce hoy como Proyectos Ambientales Suplementarios. Bajo esta iniciativa, la EPA por petición de CUCCo, asignó 3.4 millones de dólares de la multa impuesta a la AEE para la adquisición, protección y conservación de la ciénaga Las Cucharillas. El éxito de esta iniciativa hizo posible que la EPA haya implantado otros proyectos suplementarios a través de toda la Isla para facilitar en gran medida la conservación de áreas de humedal.

Por otro lado, la presencia de las comunidades, representadas por sus organizaciones, y la integración de la academia, el gobierno, la industria y las entidades sin fines de lucro fue de gran relevancia para la conservación, restauración y protección de la Ciénaga. Como resultado, hoy la Reserva Natural Ciénaga Las Cucharillas cuenta con diversas organizaciones comunitarias que dedican su esfuerzo a la reforestación, restauración y conservación de las áreas de humedal.

A pesar de los impactos a lo largo del tiempo, la Ciénaga desde el punto de vista ecológico, es hábitat de una gran diversidad de especies de aves acuáticas, residentes y migratorias, algunas de estas en estado crítico o en peligro de extinción. Su flora sirve de hospedaje y alimento a gran parte de las mariposas típicas de los llanos costeros de Puerto Rico. Por otro lado, su función como humedal filtra las aguas de escorrentías, atrapa contaminantes y otros desechos antes de que lleguen a la Bahía. Así también, el ecosistema ayuda en la recarga de los acuíferos y protege las comunidades aledañas de inundaciones. Todas estas propiedades únicas hacen que este ecosistema siga teniendo un valor incalculable en beneficio de la sociedad.

Referencias

- Junta de Planificación (2008). *Área de planificación especial y reserva natural ciénaga Las Cucharillas*. Oficina del Gobernador, Junta de Planificación de Puerto Rico, San Juan. Recuperado de <http://www.gobierno.pr/NR/rdonlyres/B20DA662-C107-4C69-807C-B2F88DD6FAC0/0/MicrosoftWordParteVDIAELasCucharillasFinalJCA.pdf>
- Loyo, N.I., Irizarry, R., Hennessey, J. G., Grant, X., & Matanoski, G. (2007). Air pollution sources and childhood asthma attacks in Cataño, Puerto Rico. *American Journal of Epidemiology*, 165(8), 927-934. doi:10.1093/eaje/kwk088.
- Seguinot, J. (1981). *Difusión cultural de la industria del azúcar desde Española a Puerto Rico durante el Siglo XVI*, Publicado en *Studies in Historical Geography*, compilado por el Dr. Roland Chardon, Departamento de Geografía y Antropología, Universidad del Estado de Luisiana.
- Seguinot, J. (1983). *Coastal modification and land transformation in the San Juan Bay Area: Puerto Rico*. (Unpublished doctoral dissertation). Department of Geography and Anthropology, Louisiana State University.
- Velez García, L.N. (1985). *Cataño: Notas para su historia*. San Juan, PR: Comité Historia de los Pueblos.

LA CIÉNAGA LAS CUCHARILLAS: UN TESORO ECOLÓGICO EN EL ESTUARIO DE LA BAHÍA DE SAN JUAN

Jorge Bauzá-Ortega, Ph.D¹

Con frecuencia pensamos que la zona metropolitana de San Juan consta solo de edificios, carreteras, almacenes, semáforos y gente. Y no es de extrañar pues lo vemos a diario, esta zona concentra, la más alta densidad poblacional en toda la Isla. Para ser específicos, aproximadamente 3,215 habitantes por kilómetro cuadrado. No obstante, también contiene grandes tesoros ecológicos. Unos de estos es el Estuario de la Bahía de San Juan (en adelante el EBSJ). Un gran sistema ecológico formado por cuerpos de agua conectados por canales, lagunas, humedales, bahías y manglares (Figura 1). Los Municipios de Toa Baja, Bayamón, San Juan, Guaynabo, Carolina, Loíza, Trujillo Alto y Cataño se unen para formar su cuenca hidrográfica. Es ahí donde compartimos espacios con más de 160 especies de aves que se alimentan y reproducen en el EBSJ —incluyendo algunas amenazadas y en peligro de extinción— sobre 130 especies de peces que nadan entre sus aguas, 20 especies de reptiles y anfibios y más de 300 especies de plantas del humedal. Esta diversidad no es un evento fortuito pues responde precisamente a que es un estuario: Un lugar en la costa donde el agua dulce que fluye de los ríos y quebradas se mezcla con el agua salada del océano. El resultado, un sistema dinámico y diverso donde encontramos comunidades ecológicas de todo tipo. Uno de estos lo es la ciénaga Las Cucharillas, localizada al oeste de la cuenca del EBSJ (Figura 1). De hecho, la Ciénaga Las Cucharillas constituye el humedal herbáceo de mayor extensión en todo el sistema del EBSJ. Más que una ciénaga, Las Cucharillas es un tesoro ecológico en plena zona urbana.

Además de su riqueza ecológica, el EBSJ posee una importancia económica pues los puertos principales se ubican entre sus aguas (Puertos de la Bahía San Juan). En éstos recibimos más de 80% de los artículos y alimentos que consumimos, incluyendo aproximadamente 1.1 millones de viajeros en cruceros. Además, el Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín, donde transitan sobre 10 millones de

¹Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, PO Box 9509, San Juan, P. R., 00908, 787-725-8165; jbauza@estuario.org

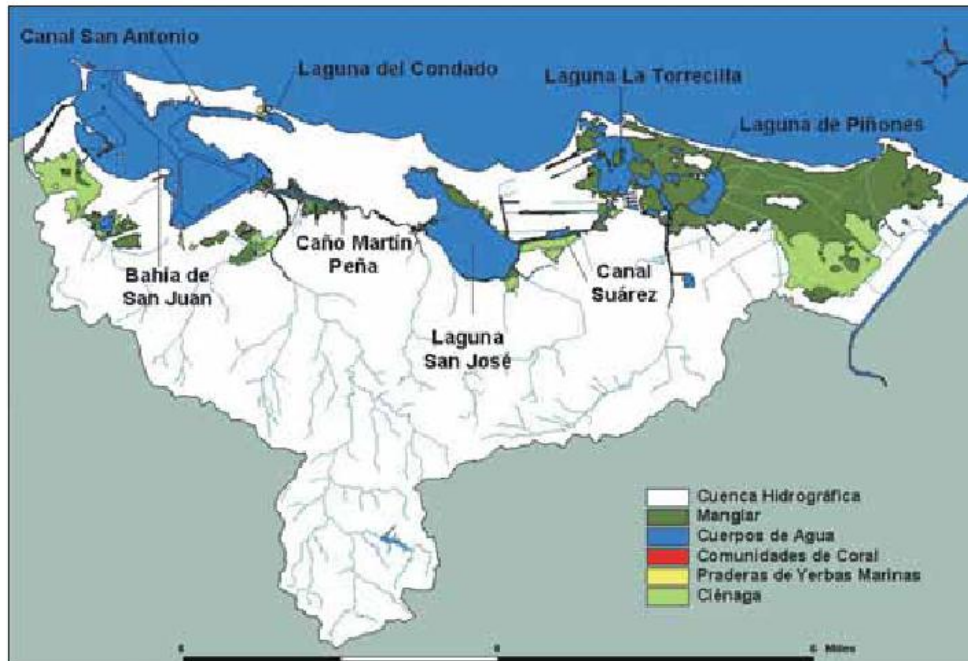


Figura 1. Humedales y cuerpos de agua del estuario (PEBSJ & EPA, 2000).

Los cuerpos de agua que comprenden este estuario son la bahía de San Juan, el canal San Antonio, laguna del Condado, el caño Martín Peña, la laguna San José, laguna Los Corozos, el canal Suárez, laguna Torrecilla, laguna de Piñones y la ciénaga Las Cucharillas.

viajeros al año, se encuentra rodeado por las aguas del EBSJ (Laguna Torrecilla). Su valor recreativo iguala su valor ecológico pues en sus aguas se practican deportes acuáticos como el remo, el buceo, la pesca deportiva y el yatismo. Además, cada día son más las personas que practican la observación de aves, el senderismo y el turismo de naturaleza en el EBSJ.

No obstante, toda esta riqueza se ve amenazada por el desarrollo en su cuenca hidrográfica. Pues su alta densidad poblacional se traduce en la contaminación de sus aguas y sedimentos, destrucción del hábitat y de la vida silvestre. Por tal razón, en el 1992 el EBSJ fue designado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA, por sus siglas en inglés) como un recurso de importancia nacional. De ahí nació el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (en adelante el Programa del EBSJ), entidad que desde entonces se ha dado a la tarea de implantar el Plan Integral de Manejo y Conservación del Estuario de la Bahía de San Juan (CCMP, por sus siglas en inglés).

El CCMP contiene cuatro áreas o planes de acción. Estas son Calidad de Agua y Sedimentos, Hábitat, Peces y Vida Silvestre, Desechos Acuáticos y Educación y Participación Ciudadana (www.estuario.org). Estos planes de acción a su vez contienen un total de 49 acciones específicas que presentan soluciones sobre cómo mejorar el EBSJ en las cuatro áreas antes mencionadas. Una de estas es la acción HW-8, la cual propone entre otras cosas, designar la ciénaga Las Cucharillas como una Reserva Natural. La acción HW-8 se vio concretizada —en su gran mayoría— el 30 de diciembre de 2008, cuando se designó por Orden Ejecutiva del entonces Gobernador Hon. Anibal Acevedo Vilá, como Área de Planificación Especial y Reserva Natural.

La ciénaga Las Cucharillas cubre aproximadamente 1,236 acres (500 ha) y consiste mayormente en humedales herbáceas, pero también incluye manglares y áreas de agua abierta. Ecológicamente, la ciénaga contiene la más alta diversidad de aves acuáticas que se haya documentado en todo el sistema del EBSJ (Figura 2). Además, juega un papel muy importante para el control de inundaciones y el mejoramiento de la calidad de las aguas del EBSJ. Por tal razón, la Acción HW-8 siempre ha constituido una de las acciones prioritarias del Programa del EBSJ.



Figura 2. Laguna Secreta

Además de proponer las Acción HW-8, el Programa del EBSJ ha realizado diferentes actividades científicas y educativas a favor de la conservación de este importante humedal urbano. Como ejemplo, presentaré tres proyectos emblemáticos de naturaleza científica implantados en la ciénaga por el Programa del EBSJ, en

colaboración con otras entidades sin fines de lucro como la Sociedad Ornitológica de Puerto Rico y el Proyecto NOCTILIO, entre otros. Estos son el Censo de Aves Navideño, el Programa de Monitoreo de Calidad de Agua por Voluntarios y finalmente el mencionado Proyecto NOCTILIO.

Censo de aves navideño

Desde los inicios del Programa del EBSJ en el 2000 se celebra un gran censo de aves en diferentes puntos del EBSJ, incluyendo en la ciénaga Las Cucharillas. El censo se lleva a cabo en la época navideña por voluntarios aficionados a la observación y conservación de las aves. A su vez, este censo se integra al Censo Internacional Navideño de Aves auspiciado por la Sociedad Nacional de Audubon. Todas las observaciones se comparten también con el banco de datos del Laboratorio de Ornitología de la Universidad de Cornell en New York, bajo el proyecto eBird. Durante una fecha escogida en el mes de diciembre y en la mañana muy temprano, los voluntarios se distribuyen en las diferentes áreas. Cargan con sus binoculares, sus guías de campo, su conocimiento, pero sobretodo con su disposición y entusiasmo. El objetivo principal es determinar la cantidad y diversidad de aves nativas, exóticas y migratorias.

La importancia de este proyecto radica principalmente en que dichas observaciones de campo se analizan y se pueden traducir en indicadores ambientales. Es decir, indicadores del estado de salud del ecosistema. Por ejemplo, cambios en la dinámica poblacional de las aves —a través del tiempo— pueden indicar cambios ambientales, impactos asociados a los cambios climáticos y/o cambios ecológicos. Las observaciones de estos censos indican que la ciénega Las Cucharillas provee múltiples hábitáculos terrestres y acuáticos para las aves residentes y migratorias. Lo que se traduce en una gran diversidad de aves, especialmente en la laguna Secreta y sus márgenes.

Monitoreo de calidad de agua

Otra actividad que realiza el Programa del EBSJ en la ciénaga Las Cucharillas y en otros puntos del EBSJ es el monitoreo de calidad de agua por voluntarios (Figura 3). Este programa (conocido como el Programa de Monitoreo de Calidad de Agua del Estuario) consiste en medir diferentes parámetros que indican de calidad del agua. En total, se visitan 23 estaciones de monitoreo en ríos, quebradas, canales, lagunas y bahías. Durante las mismas se determina la concentración de nutrientes, bacterias indicadoras de contaminación fecal (coliformes fecales y enterococos),

aceites y grasas, demanda biológica de oxígeno (DBO), clorofila, carbón orgánico total, niveles de turbidez, la transparencia del agua, oxígeno disuelto y el pH. Con los datos colectados se calcula un índice de calidad de agua.



Figura 3. Voluntarios monitoreando la calidad del agua.

Estos índices de calidad de agua son valores numéricos que nos dicen cómo se encuentra la calidad del agua y la condición de salud de cuerpo de agua. Es decir, una forma sencilla de traducir las observaciones de campo en un valor numérico y en una calificación fácil de comprender. El índice de calidad de agua va desde 0 hasta 100; entre más alta la calificación mejor es la calidad del agua. De igual forma, este valor se traduce a un valor igual a las calificaciones escolares; donde una F representa una calidad de agua muy pobre y una A será una excelente.

Existen dos puntos de monitoreo de calidad de agua en la ciénaga Las Cucharillas. Uno de estos se localiza en el canal de La Malaria y el otro en la laguna Secreta. No obstante, constamos con más observaciones para el canal de La Malaria.

Aquí la calidad del agua es muy pobre. Pues el índice de calidad para este canal fue 22 puntos de 100, lo que se traduce en una nota de F. Este resultado indica la presencia de fuentes de contaminación, particularmente de aguas sanitarias sin tratar. Pues los conteos de colonias de coliformes fecales y enterococos (bacterias indicadoras de contaminación fecal) fueron muy altos, es decir, de 29,673 colonias/100 ml y 37,333/100 ml, respectivamente. De igual forma, los valores de oxígeno disuelto fueron muy bajos (promedio de 0.84 mg/L). Por el contrario, la laguna Secreta demostró ser un cuerpo de agua bien oxigenado, pues los valores promedios de oxígeno disuelto fueron de 6.10 mg/L. Hay que tener presente que se necesita más de 4 mg/L para considerar el cuerpo de agua apto para sustentar la vida acuática. Los datos se actualizan frecuentemente y pueden ser asesados en el portal del Programa del EBSJ en www.estuario.org.

NOCTILIO – El murciélago pescador

Otro proyecto innovador realizado en la ciénaga Las Cucharillas es el estudio poblacional del murciélago pescador (*Noctilio leporinus*). Esta especie se alimenta de peces durante la noche utilizando sus grandes garras, pero durante el día, descansa en los bosques tierra adentro. El Programa del EBSJ en colaboración con el Centro Ambiental Santa Ana y el Programa de Conservación de Murciélagos de Puerto Rico (dirigido por el Dr. Armando Rodríguez Durán) capturaron y marcaron individuos para determinar los movimientos diurnos de la especie (Figura 4). Estos esfuerzos forman parte del Proyecto NOCTILIO, dirigido por las entidades antes mencionadas. El murciélago pescador es una especie que representa la conexión biológica existente entre los cuerpos de agua en la costa y los sistemas ecológicos cuenca arriba. En otras palabras, conecta los ecosistemas acuáticos con los ecosistemas terrestre, convirtiéndose en una especie emblemática de conexiones biológicas en las cuencas hidrográficas. Por ejemplo, este mamífero duerme y descansa en las zonas boscosas del Bosque Santa Ana en Guaynabo, pero se alimenta durante la noche en los canales y lagunas de la ciénaga Las Cucharillas. El proyecto NOCTILIO pretende confirmar y estudiar la existencia precisamente de esta conexión biológica.

Conclusión

La designación de la ciénaga Las Cucharillas como reserva natural protegerá y conservará sus recursos naturales incalculables y los servicios ecológicos gratuitos que provee. Entre estos servicios se encuentran el mejoramiento de la calidad del



Figura 4. El murciélago pescador *Noctilio leporinus*. (Foto por Gladys Rivera)

agua, fuente de abastos de agua, control de erosión de suelos y de erosión costera, protección contra las inundaciones, hábitat para la vida silvestre, pesquerías, recreación y estética, mejoramiento de la calidad del aire, reducción de ruidos urbanos además que provee espacios para la investigación científica y la educación. Reconociendo su importancia, el Programa del EBSJ - en colaboración con voluntarios, organizaciones, comunidades y otras entidades – auspicia actividades de reforestación y conservación. Por ejemplo, se han sembrado árboles nativos de humedal como es el palo de pollo (*Pterocarpus officinalis*), el árbol de anona (*Annona glabra*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle rojo (*Rhizophora mangle*), entre otros. Es importante reconocer la labor de los voluntarios que con su tiempo y compromiso han posibilitado la realización de estos esfuerzos. Pues la clave para perpetuar la restauración y la conservación de este hermoso humedal descansa en la participación e integración ciudadana durante todo el proceso.

Referencias

Programa del Estuario de la Bahía de San Juan y Agencia de Protección Ambiental del los Estados Unidos de América (2000). Plan integral de manejo y conservación para el estuario de la bahía de San Juan. Recuperado de <http://www.estuario.org/index.php/plan-de-manejo>

Proyecto ebird (2013). Banco de datos del laboratorio de ornitología de la Universidad de Cornell. Recuperado de <http://ebird.org/content/ebird/acerca/afiliados/el-laboratorio-de-ornitologia-cornell>

Sociedad Nacional de Audubon (2013). Censo internacional navideño de aves. Recuperado de <http://birds.audubon.org/christmas-bird-count>

PLAN DE ADQUISICIÓN DE TERRENOS CIÉNAGA LAS CUCHARILLAS

Carlos R. Morales-Agrinzoni, MSEM¹ & Carlos Padin-Bibiloni, Ph.D.¹

Introducción

A nivel mundial han desaparecido miles de hectáreas de bosques tropicales, así como la pérdida de hábitats importantes como los humedales. La tala de bosques y la conversión de áreas forestales para la agricultura, ganadería o asentamientos humanos son la causa del 90% de los casos de extinción de especies de plantas y animales (Fundación Tierra del Mundo, 2009). Estos eventos hacen cada vez más necesario el establecimiento de áreas naturales protegidas con el propósito de conservar la biodiversidad dentro de los ecosistemas amenazados (Soulé, 1991). La adquisición de terrenos es uno de los mecanismos claves para la conservación de la biodiversidad y es una práctica multidisciplinaria que requiere de la consideración de fenómenos sociales y naturales (Czech, 2002).

Los criterios para determinar las áreas que deben ser protegidas han evolucionado de la mano de la biología de la conservación y herramientas tecnológicas como los sistemas de información geográfica (Castaño-Villa, 2005). Estos criterios implican la búsqueda abarcadora de las diferentes perspectivas, la evaluación cuidadosa de los costos y beneficios asociados a los recursos identificados, la valoración de alternativas, y la selección de las mejores estrategias de adquisición. Este proceso no puede estar ajeno a los principios de la ecología y la economía que implican la expansión del nicho humano, la expansión económica y la visión de competencia con los espacios naturales (Castaño-Villa, 2005). A tales efectos, los programas o planes de adquisición de terrenos deben integrar los principios de la biología de la conservación, la economía ecológica y las ciencias políticas (Czech, 2002). El proceso debe identificar las prioridades de adquisición para dirigir los esfuerzos a propiedades con recursos claves (Czech, 2002). Además, debe identificar un modelo estándar que incluya la identificación de metas inequívocas, alternativas específicas y la selección de los mejores criterios para completar las metas identificadas (National Research Council, 1993).

La delimitación de las zonas de interés y los cambios en el uso del suelo son esenciales para el desarrollo de programas de adquisición de terrenos (Wildlife

¹Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, PO Box 21150, San Juan, PR 00928, 787-766-1717; cmorales@suagm.edu

Conservation Society [WCS], 2002). Estos aspectos permiten monitorear y manejar los recursos naturales y el desarrollo urbano proveyendo un análisis cuantitativo de la distribución espacial (Baker, 1989). Este análisis cuantitativo permite de cierta forma detectar los cambios, identificar la naturaleza del cambio, medir la extensión del cambio y evaluar los patrones espaciales del cambio. Estos modelos de adquisición para la conservación de terrenos deben mantener un sistema ecológico dinámico que intente proteger los procesos de las dinámicas naturales y tome en consideración el tamaño, la forma, los arreglos espaciales y las conexiones de los ecosistemas (WCS, 2001).

Este estudio incorporó estos elementos en la metodología para identificar los terrenos de alta prioridad en la ciénaga Las Cucharillas. La Ciénaga abarca un área aproximada de 1, 236 acres que comprenden los humedales asociados a la cuenca hidrográfica que transcurre por los municipios de Bayamón, Toa Baja, Cataño y Guaynabo, y que están asociados al estuario de la bahía de San Juan, (PEBSJ, 2000). Como ecosistema, la ciénaga Las Cucharillas es el humedal más grande que queda en la zona metropolitana de San Juan y se ha visto altamente impactado por el desarrollo urbano desmedido y el relleno de zonas de humedal. Estas acciones provocan la fragmentación del ecosistema, amenazan la biodiversidad, alteran la hidrología de la zona e impactan la seguridad de las comunidades que habitan cerca del humedal. Aunque la acción 8 bajo el programa de Habitat, Pesca y Vida Silvestre (HW, por sus siglas en inglés) del Plan Integral de Manejo y Conservación del PEBSJ recomendó en el 2000 que la ciénaga Las Cucharillas sea un área protegida y conservada, no estableció una delimitación clara y precisa de la zona. Es por esto, que este estudio estuvo dirigido a identificar los terrenos de alta prioridad en la ciénaga Las Cucharillas y a desarrollar las estrategias para adquirir dichos terrenos desarrollando un plan de adquisición. Los objetivos del estudio eran delimitar la zona de interés; identificar los valores naturales, las fincas y propietarios de la zona de interés; y determinar las prioridades y las estrategias de adquisición. Con este Plan, se intenta proteger, conservar y restaurar el humedal urbano más grande en la zona metropolitana de San Juan, con el fin de mejorar la calidad de vida de los residentes de la zona y conservar su aportación a la biodiversidad de los sistemas naturales que en ella coexisten.

Método

La ciénaga Las Cucharillas está ubicada al oeste de la bahía de San Juan. Utilizamos fotos aéreas de 1937, 1962 y 2002 del área de estudio para hacer un

análisis espacial mediante el uso de sistema de información geográfica y las capas de información de la base de datos del 2002 de la Junta de Planificación. Como parte del análisis, utilizamos la metodología de ecología paisajista y el concepto de análisis de parcho utilizados por Nature Conservancy (1987) en su marco conceptual de conservación efectiva para establecer la delimitación del área de interés.

Identificación de los valores naturales

Acorde con la Ley núm. 150 del 4 de agosto de 1988, conocida como Ley del Programa de Patrimonio Natural es importante reconocer el valor de la naturaleza y las especies que la componen la diversidad genética, el valor estético y recreativo, así como la importancia del mantenimiento de los abastos de agua. Para este propósito, recopilamos la información disponible sobre la flora y la fauna utilizando los censos de aves (2000–2002) de la Audubon Society, la Sociedad Ornitológica de Puerto Rico, el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) y el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ). Recopilamos el inventario de flora utilizando la información disponible en el PEBSJ y el inventario realizado por el Proyecto de Restauración, Protección y Co-Manejo de la Ciénaga Las Cucharillas de la Escuela de Asuntos Ambientales de la Universidad Metropolitana. Utilizamos las listas el 2000 de Especies Críticas del Programa de Patrimonio Natural del DRNA y la lista federal de especies en peligro de extinción de US. Fish and Wildlife Service para identificar las especies críticas, vulnerables o en peligro de extinción.

Identificación de las fincas que comprenden la zona de interés

Mediante el uso de la base de datos de la Junta de Planificación (JP) del 2000 y la información de los mapas catastrales del Centro de Recaudación de Ingresos Municipales (CRIM) del 2002, identificamos las fincas dentro de la zona de interés y sus propietarios. Corroboramos la información de los propietarios de las fincas mediante el Registro de la Propiedad y los propios dueños.

Prioridades y estrategias de adquisición

La determinación de prioridades de adquisición de terrenos con el fin de conservación estuvo basada en el desarrollo de criterios biológicos, comunitarios y económicos (Noss & Harris, 1997). Los criterios biológicos en la adquisición de terrenos contemplan la protección de la diversidad biológica, el funcionamiento de los ecosistemas y la protección del paisaje (Coggins, 1991). Para la determinación de las prioridades en la adquisición, los criterios comunitarios examinan si los

ecosistemas son amenazados, directa o indirectamente por las actividades humanas (Hough, 1991). Así pues, la conservación de terrenos no puede estar aislada de las actividades humanas, y los conflictos de uso en la conservación de los recursos, y dónde la conservación afecta adversamente el bienestar humano (National Research Council, 1993). Por otro lado, los criterios económicos, más allá de establecer un valor monetario del ecosistema, examinan la viabilidad de la conservación de los recursos tomando en consideración los conflictos en términos de la tenencia, derechos adquiridos, permisos otorgados, disturbios, accesibilidad, intereses económicos de la zona y el impacto ambiental entre otros (International Union for Conservation of Nature [IUCN], 1994).

Utilizamos el Sistema de Información Geográfica (GIS) para crear capas de información según la información recopilada. Para el análisis de estas capas de información, creamos una matriz simple según el manual de Diseño y Selección de Áreas para Conservación de la organización Nature Conservancy (1987), el cual adjudica jerarquías a las prioridades de adquisición. Esta matriz considera los objetivos establecidos por el programa de adquisición, los criterios establecidos y la puntuación o valorización que se le va a asignar a cada criterio (General Accounting Office, 1981), la cual estará basada en la información recopilada en los inventarios preliminares (Noss et al., 1997). Muchos modelos establecen los valores a nivel global, nacional o de estado, o simplemente otorgan valores numéricos de acuerdo a la importancia de los criterios.

Para las estrategias de adquisición, evaluamos los diferentes mecanismos de adquisición bajo las leyes estatales del Estado Libre Asociado de Puerto Rico. La adquisición no solamente incluye la obtención del título de propiedad mediante transacciones monetarias entre vendedores y compradores. Este mecanismo, también reconoce la aplicación de incentivos contributivos a propietarios con títulos de propiedad bajo servidumbres de conservación, intercambios, transferencias de derechos y el ejercicio del dominio eminente de la titularidad. Los intercambios y transferencias de derechos pueden ser esfuerzos emprendedores porque facilitan la adquisición de terrenos establecidos por los modelos de prioridad (National Research Council, 1993). Además, existe un nuevo paradigma de la conservación que reconoce la creación de acuerdos voluntarios entre las agencias estatales y federales, organizaciones comunitarias no lucrativas y los dueños de los terrenos (Esquer, 2002). Estos acuerdos voluntarios se traducen en contratos regulados por las cláusulas que lo conforman y por el código civil de Puerto Rico.

Resultados y discusión

Cambios en el uso del terreno

El análisis espacial de las fotos de 1937, 1962 y 2002 muestran claramente cómo los procesos de desarrollo urbano alteraron y fragmentaron el ecosistema de la ciénaga Las Cucharillas (Figura 1). La foto de 1937 muestra un ecosistema con una vegetación densa, descrita en varias fuentes como un rodal de mangle que formaba parte de los bosques insulares de Puerto Rico establecidos en 1919. Para 1937 existían los desarrollos urbanos de las comunidades Juana Matos, el casco urbano del pueblo de Cataño, la comunidad de Vietnam en el municipio de Guaynabo y la carretera PR-5 conocida como el Camino Real. Para 1962 hubo una expansión de la zona urbana debido al crecimiento de la comunidad de Juana Matos y el establecimiento de las comunidades de Puente Blanco y Cucharillas. Ese incremento de la zona urbana y el uso de los suelos para la agricultura y ganadería, la construcción de carreteras y zonas industriales fueron fragmentando y disminuyendo la vegetación densa de mangle que había durante el 1937. La foto aérea del 2002 muestra una zona densamente poblada e industrializada. El uso del terreno era prácticamente industrial, comercial y urbano, lo cual hizo desaparecer las áreas agrícolas y de ganadería.



Figura 1. Fotos aéreas de 1937, 1962 y 2002 de la zona de interés

Al analizar las fotos aéreas y las capas de información de la base de datos de la JP, encontramos que entre 1937 al 2002 hubo un incremento de 1103 acres de área construida, lo que representa el 51% de la zona de interés (Figura 2). Aproximadamente 553 acres se dedicaron a usos de tipo industrial. La Tabla 1 resume los cambios más significativos y determinantes que influenciaron los cambios ocurridos en el ecosistema.



Figura 2. Incremento de área construida desde 1962 hasta el 2002.

Tabla 1

Cambios en el uso el terreno que influenciaron en la composición del ecosistema

Años	Cambios en el uso del terreno
1937	Desarrollo del casco urbano de Cataño, la comunidad de Vietnam en Guaynabo, y el inicio del asentamiento urbano a lo largo de la PR-5 conocido como Camino Real.
1937-1962	Construcción del caño La Malaria por parte de Cuerpo de Ingenieros del Ejercito de los Estados Unidos; la canalización del río Bayamón como proyecto para el control de inundaciones; construcción del dique para almacenar el material dragado de la bahía de San Juan; el depósito del material dragado formando dos islas frente a la comunidad de Bay View; el desarrollo de la PR 22 y la PR 167.
1962-2002	Desarrollo de parques industriales Amelia y Palmas; la unión de las dos islas formando la península La Esperanza; establecimiento de estaciones de bombeo como medidas de control de inundaciones; y el desarrollo de urbanizaciones.

A pesar de los cambios ocurridos, el área de estudio cuenta con dos fragmentos de área no construida identificada por el PEBSJ en su Plan Integral de Manejo y Conservación como la ciénaga Las Cucharillas compuesta por un humedal herbáceo y una laguna. Sin embargo, el borrador del Plan de Ordenación Territorial de Cataño (2000) identificó otros ecosistemas de importancia como la península La Esperanza y los remantes de humedal de la canalización de río Bayamón y su antigua desembocadura. Al tomar en consideración la teoría de ecología paisajista y

el concepto de análisis de parcho, todos los fragmentos de zona verde que aun no ha sido construidos, deben ser evaluados para asegurar la conservación de los recursos naturales existentes. La Figura 3 muestra la delimitación de las zonas de interés para la conservación y adquisición de terrenos.



Figura 3. Delimitación de área de interés para la conservación y adquisición de tierras.

Según los mapas de inventarios de humedales de Puerto Rico, las áreas identificadas en amarillo se componen de remanentes de humedal estuarino, palustrino, y en el área de la costa se observan humedales marinos. Estas zonas de humedal se encuentran en la zona del litoral de acuerdo a la catalogación de zonas basada en el tipo de cubierta vegetativa. Dansereau (1966) la describió como una zona de ciénaga con cobertura predominante de yerbas que incluye las yerbas *Panicum*, *Typha* y *Gynerium*, entre otras.

Biodiversidad

De acuerdo con la información recopilada sobre la flora, dentro del área delimitada existen aproximadamente unas 97 especies de plantas pertenecientes a 37 familias. Existen 30 especies de plantas obligadas a condiciones de humedal.

El lugar posee 68 especies nativas y 14 especies exóticas. Además, existen en este ecosistema cuatro especies nativas consideradas elementos críticos, entre las que se encuentran la yerba marina (*Hyptis verticillata*), el bejuco *Aniseia martinicensis*, el bejuco de puerco (*Ipomea setifera*) y la yerba cortadora (*Scleria mitis*). La familia con mayor número de representantes fue la familia Poaceae con un total de 25 especies identificadas de los géneros *Andropogon*, *Arundo*, *Axonopus*, *Brachiaria*, *Chloris*, *Eleusine*, *Echinochloa*, *Eriochloa*, *Isachne*, *Leersia*, *Leptochloa*, *Pannisetum*, *Paspalum*, *Sacharum*, *Sacciolepis*, *Setaria*, *Sporobolus*, *Stenotaphrum*. De éstos, el género *Paspalum* presentó mayor diversidad con un total de seis de especies. La familia Cyperaceae estuvo representada por 14 especies de los géneros *Cladium*, *Cyperus*, *Eleocharis*, *Fimbristylis*, *Fuirena*, *Rhynchospora* y *Scleria*. A su vez, otras especies floríferas y helechos de las familias Annonaceae (*Annona glabra*), Onagraceae, Alismataceae (género *Sagittaria*), Malvaceae, Araceae, Polygonaceae, Compositae, Leguminosae (*Machaerium*), Typhaceae (*Typha domingensis*) y Pteridaceae (*Acrostichum*) están presentes en los diferentes sistemas de ciénagas, sabanas húmedas o pantanos herbáceos y leñosos. En el sistema de ciénaga fue identificada la flotadora nativa *Nymphaea pulchella* (Nymphaeaceae) y floríferas coloniales de diminuto tamaño del género *Lemna* (Lemnaceae).

Utilizando el sistema Beard (1973), distinguimos las siguientes formaciones vegetativas:

- Árboles de mangle que incluyen: mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), y palo de pollo (*Pterocarpus officinalis*)
- Ciénagas herbáceas de agua dulce en donde abundan las yerbas: *Cyperus gigantea*, *Cyperus lingularis*, *Wedelia trilobata* y *Paspalum milegrana*.
- Pantanos herbáceos de agua dulce con vegetación predominante de *Typha* (*Typha domingensis*)
- Pastizales compuestos por *Brachiaria purpurascens*, *Sacharum spontaneum*, y *Chloris inflata*
- Bosque Seral en donde se encuentran representados los siguientes géneros: *Albizzia*, *Ricinus*, *Laucaena*, *Ipomea*, *Mimosa*, *Brachiaria* y *Chloris*.

Según datos recopilados por el PEBSJ, en la ciénaga Las Cucharillas se habían identificado especies de anfibios, de los cuales tres son nativas, dos exóticas y

una endémica (*Eleutherodactylus coqui*). En cuanto a reptiles, se habían identificado especies nativas del género *Anolis* como el lagartijo común (*A. cristatellus*), el lagartijo de yerbas (*A. pulchellus*) y el lagartijo manchado (*A. stratullus*). En la zona costera, se encuentran varias especies de crustáceos de los cuales se han identificado dos especies: cangrejo violinista (*Uca thayeri*) y el juey común (*Cardisoma guanhumi*).

Según el Servicio de Pesca y Vida Silvestre Federal (2000), el área de la laguna Secreta de la ciénaga Las Cucharillas, contiene la mayor diversidad de especies de aves en todo el estuario de la bahía de San Juan. La vegetación característica del área, provee hábitat para unas 63 especies de aves de las cuales 45 son residentes, 21 especies raras y 19 migratorias. De las especies presentes en este ecosistema, se han identificado especies exóticas y endémicas como lo son el pájaro carpintero (*Melanerpernes portorricensis*), la mariquita de Puerto Rico (*Angelaius xanthomus*) y el julián chiví (*Vireo latimeri*). A su vez, el área alberga tres especies consideradas vulnerables. Entre estas especies están el pato chorizo (*Oxyura jamaicensis*), la chirriría antillana (*Dendrocygna arborea*) y el gallinazo nativo (*Fulica caribaea*). De las especies presentes en el área, tres se encuentran en peligro de extinción como lo son la mariquita de Puerto Rico (*Angelaius xanthomus*), el pelícano pardo (*Pelecanus occidentalis*) y el falcón peregrino (*Falco peregrinus*).

Titularidad de los terrenos

El área demarcada como la ciénaga Las Cucharillas se compone de un total de 28 fincas, según los mapas catastrales del Centro de Recaudación de Ingresos Municipales de Puerto Rico (CRIM) (Figura 4 y Tabla 2). De esas 28 fincas, solo 6 son propiedad privada. Sin embargo, en términos de extensión territorial 44.9% de los terrenos que componen esas 28 fincas son de tenencia pública, mientras que el 55.1% son de tenencia privada. La sección donde ubica el humedal herbáceo cubre un área de aproximadamente 500 acres de terreno. De estos 500 acres, solo 69.38 acres tienen una servidumbre de conservación como resultado de distintas mitigaciones hechas por la Autoridad de Carreteras de Puerto Rico debido al resultado de la construcción del Tren Urbano y las carreteras estatales PR 5 y PR 22. Además de la mitigación de la Compañía Toyota de 3.62 acres debido al desarrollo de nuevas instalaciones para el almacenamiento de autos. Esto solo representa el 13.9% de los terrenos; el 86.1% restante se encuentran en manos privadas y no han sido desarrollados. Aunque se conoce de la tramitación de algunos permisos para la construcción de nuevas áreas industriales.

La titularidad de los terrenos que comprenden la otra sección de la Ciénaga donde se encuentra la laguna Secreta es del Gobierno de Puerto Rico, representado por el municipio de Cataño y Guaynabo. Existe un gravamen de servidumbre de conservación en 65.05 acres de humedal como resultado de una mitigación realizada por la compañía Promo-Export cuando expandió sus operaciones. En esta sección solo el 4% de los terrenos (6 fincas) están bajo titularidad privada. Los dueños de estos terrenos privados son Puerto Nuevo Development y El Mundo Broadcasting.

Prioridades de adquisición

Los criterios identificados para establecer las prioridades de adquisición fueron: biológico, económico y comunitario. Bajo el criterio biológico, tomamos en consideración el tamaño y forma, la conectividad de las fincas, la presencia de cuerpos de agua y la presencia de elementos críticos, según lo define el DRNA bajo el Programa de Patrimonio Natural. Cada uno de estos factores determina el valor natural de la finca. Según Frankel y Soulé (1981) existe una interacción directa entre la diversidad de especies y el tamaño del área, aunque aseguran que esta interacción está influenciada por la temperatura, topografía y geología del área. Además, la conectividad de los parchos es uno de los factores determinantes en la supervivencia de las especies para facilitar el movimiento y dispersión de las especies (Soulé et al., 1988).



Figura 4. Titularidad del área delimitada como ciénaga Las Cucharillas.

Tabla 2
Titularidad de los terrenos en la ciénaga Las Cucharillas

Secciones	Titularidad	Acres	
Ciénaga Las Cucharillas			
Laguna Secreta	Pública	Municipio de Cataño	121
		Municipio de Guaynabo	74
		Promo Export	65.05
	Privada	El Mundo Broadcasting	22
		Puerto Nuevo Development	19
		Municipio de Cataño	117
Humedal herbáceo	Pública	Dept. Transp. y Obras Públicas	1.03
		Mitigaciones -DRNA	73
	Privada	Infinity Inc.	164.416
		Remolques de Puerto Rico	2.03
		F & R Contractor	10
		Bahía Park	210
Parque de la Península	Pública	Casco Sale	5
		Península La Esperanza	
		Municipio Cataño	15
Islote		DRNA	5

Para el criterio económico, no tomamos en consideración el costo de las fincas, pero sí los factores que directa o indirectamente influyen en el costo. Estos factores son la zonificación de las fincas, las consultas de ubicación aprobadas y el impacto o disturbio de las fincas. Estos factores determinan la presión de desarrollo de cada una de las fincas. La zonificación del área y las consultas de ubicación aprobadas ayudan a determinar la presión de desarrollo del área y al mismo tiempo a identificar los factores que inciden en la degradación de las fincas y del ecosistema. Así también, al identificar las áreas impactadas, se pueden establecer criterios para los costos de restauración y mantenimiento del área. Según los mapas de calificación de la base de datos de la JP del 2000, las áreas de interés previamente seleccionadas están zonificadas como residencial de baja densidad (R1). El Plan de Ordenación Territorial del Municipio de Cataño, en su fase IV, clasifica los suelos de la península

La Esperanza, la ciénaga Las Cucharillas y los remanentes de humedal del río Hondo y el río Bayamón, incluyendo su antigua desembocadura, como suelos rústicos de conservación (CR). En cuanto a las consultas de ubicación en el área, solo existe una consulta aprobada por la Junta de Planificación, en el 1999, para la lotificación de 19 solares industriales y uno comercial en una finca de 210 cuerdas propiedad de Bahía Park S.E. También existe otra consulta de ubicación en el 1996 para el establecimiento de 18 solares industriales en una finca de 157 cuerdas, propiedad de Infinity Inc. Esta consulta se encuentra en suspenso y la misma ha sido archivada por la Junta de Planificación.

En el criterio comunitario consideramos la evaluación de los resultados del Estudio de Necesidades y los diferentes talleres comunitarios realizados por el Plan de Educación del Proyecto de Protección, Restauración y Co-Manejo de la Ciénaga Las Cucharillas. Este estudio de necesidades fue una adaptación del documento EPA's Community Involvement and Outreach Center, Installation Restoration Program, Massachusetts Military Reservation, Community Involvement Plan 2000 y del cuestionario del Servicio de Extensión Agrícola Programa de Desarrollo de Recursos de la Comunidad para la región de Ponce del 2002. Entre los factores identificados están (a) el problema de las inundaciones, (b) la falta de un sistema de recogido de desperdicios sólidos eficiente, (c) la falta de áreas de recreación pasiva, (d) la falta de lugares para la construcción de nuevas viviendas, y (e) la protección de las áreas verdes. Estos factores determinan el valor social de cada una de las fincas.

De acuerdo al manual de Diseño y Selección de Áreas para Conservación de la organización Nature Conservancy (1987), construimos una matriz simple utilizando los criterios y factores previamente discutidos (Tabla 3). La matriz fue construida utilizando solo las fincas privadas. Cada uno de los criterios fue valorizado del 1 al 3, siendo el 3 el de mayor importancia. Esta valorización permite destacar los factores más importantes que se presentan en las fincas evaluadas, según los criterios establecidos. Las fincas de mayor puntuación fueron la propiedad de Infinity Inc (164.416 acres), la de Bahía Park (210 acres) y la de Casco Sale (5 acres). Estas fincas son consideradas como prioridad I. Las fincas de Dueñas Trailer, la finca de F & R Contractor, la finca de El Mundo Broadcasting Corp. y la finca de Puerto Nuevo Development Inc., son consideradas como prioridad II.

Tabla 3

Matriz de prioridades de adquisición para las fincas privadas

Criterios	Bahía Park	F&R Contractor	Casco Sales	E M Broad.	Infinity Inc.	P N Develop.	Remolques de PR
Valor natural							
Tamaño	3	2	1	2	3	2	1
Conectividad	3	1	3	3	3	2	2
Hidrología	3	3	3	3	3	3	1
Elementos Críticos	3	2	1	2	3	1	1
<i>VN promedio</i>	3.00	2.00	2.00	2.50	3.00	2.00	1.25
Valor social							
Protección	3	1	1	2	3	2	1
Valor Educ.	2	2	2	1	2	1	3
Valor Recre.	2	3	2	1	2	1	3
<i>VS promedio</i>	2.33	2.00	1.67	1.33	2.33	1.33	2.33
Presión de desarrollo							
Áreas Impactadas	2	1	2	1	1	1	3
Permisos Existentes	3	2	3	2	2	2	1
<i>PS promedio</i>	2.50	1.50	2.50	1.50	1.50	1.50	2.00
ΣV (criterios)	7.83	5.50	6.17	5.08	6.83	4.83	5.58

Estrategias de planificación

La presión de desarrollo alrededor de las áreas delimitadas, el rol en el manejo de las aguas de escorrentías de estos terrenos, y la biodiversidad de flora y fauna encontradas en las áreas delimitadas, son factores determinantes en establecer un mecanismo que facilite la conservación de los terrenos, mientras se encamina el proceso de adquisición de las fincas. Este mecanismo es la designación de las áreas delimitadas como reserva natural. La designación de reserva natural puede darse mediante el mecanismo legislativo, a través de un proyecto de ley, o mediante el proceso de designación por parte de la Junta de Planificación y el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. Ambos procesos permiten la participación de

las comunidades, y de los dueños de los terrenos, facilitando el diálogo que permita la conservación de este ecosistema a perpetuidad. Esta acción fue completada en diciembre 2008 mediante la aprobación por parte de la Junta de Planificación y el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales del Área de Planificación Especial y Reserva Natural: Ciénaga Las Cucharillas a través de la resolución PU-002-2008-14-02. La delimitación de la reserva natural de la ciénaga Las Cucharillas adoptada en esta resolución es la misma que se presenta este estudio.

En cuanto al proceso de adquisición, las fincas de tenencia pública pueden ser protegidas mediante la transferencia de estos terrenos al DRNA o mediante las disposiciones establecidas por la Ley 81 del 31 de agosto de 1991, conocida como la Ley de Municipios Autónomos de Puerto Rico. Esta ley en su Capítulo 9, artículos 9.01, 9.02, 9.03, 9.04, 9.05, 9.06, 9.07, 9.08, 9.14 provee mecanismos para la adquisición de terrenos. Entre estos mecanismos están la expropiación forzosa, el usufructo o la transferencia de la propiedad (permuta) a entidades sin fines de lucro. Esta ley reconoce que los municipios podrán ceder o donar fondos o bienes de su propiedad a cualquier entidad no partidista que opere sin fines de lucro y se dedique a gestiones o actividades de interés público que promuevan el bienestar general de la comunidad. Este mecanismo aplica a aquellos terrenos que sean propiedad del municipio. Además, la ley establece que toda cesión de bienes o donativo de fondos deberá aprobarla la Asamblea Municipal, mediante resolución al efecto aprobada por no menos de dos terceras partes del total de miembros de la misma, excepto cuando los bienes y fondos municipales sean para la realización de programas auspiciados por cualquier ley federal o del Estado Libre Asociado de Puerto Rico. En el caso de la expropiación forzosa los municipios podrán solicitar al Gobernador de Puerto Rico o instar un proceso de expropiación forzosa por cuenta propia siempre y cuando la propiedad no pertenezca o haya pertenecido al Gobierno Central o a alguna de sus instrumentalidades o corporaciones públicas durante los 10 años anteriores a la fecha de la solicitud de expropiación, excepto que medie autorización por Resolución Conjunta de la Asamblea Legislativa. Este mecanismo tiene que seguir las leyes generales que rigen los procesos de expropiación y establecer el pago de cualquier suma de dinero que se determine por virtud del procedimiento de expropiación.

Para las fincas privadas, las leyes estatales y federales reconocen una serie de mecanismos para adquirir terrenos con el fin de conservar y proteger los recursos naturales existentes. Una de estas leyes es la Ley Núm. 183 del 27 de diciembre del 2001, conocida como la Ley de Servidumbre de Conservación de Puerto Rico.

Estudios realizados en Estado Unidos y Costa Rica concluyen que una servidumbre de conservación puede colaborar en el esfuerzo por rescatar áreas de valor natural, cultural o agrícola (Nature Conservancy, 2000). Esta ley define la Servidumbre de Conservación como un gravamen impuesto sobre un inmueble en beneficio de una persona o un predio que impone obligaciones, derechos y condiciones sobre el inmueble y su dueño para propósitos de protección o conservación de un área de valor natural o de una propiedad con valor cultural o agrícola. Este tipo de gravamen se puede acordar entre un dueño de una propiedad, con una agencia del Gobierno o una organización sin fines de lucro, con la intención de protegerla a perpetuidad. Esta servidumbre puede establecerse para propósitos de conservar el atributo natural, agrícola, de bosque o escénico de una propiedad, o su condición como espacio abierto; proteger cuencas hidrográficas; mantener o mejorar la calidad del aire o las aguas; o conservar propiedades con valor cultural de carácter histórico, arquitectónico o arqueológico. Al mismo tiempo, puede ser un mecanismo mediante el cual se motiva a que un propietario otorgue voluntariamente una servidumbre de conservación a cambio de un incentivo contributivo; puede ser parte de un acuerdo, mutuamente beneficioso, entre una agencia u organización sin fines de lucro y un propietario para realizar trabajos que protejan o conserven un terreno de valor natural, cultural o agrícola; o puede, entre otros, ser un mecanismo mediante el cual un propietario decide voluntariamente establecer una restricción a su propiedad para conservar a perpetuidad el valor natural o cultural de la misma.

El Programa de Patrimonio Natural del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, creado por la Ley núm. 150 del 4 de agosto de 1988, reconoce varios mecanismos de adquisición. Estos son:

- **Notificación:** Notificar al dueño de la importancia natural de su terreno y solicitarle que la proteja voluntariamente.
- **Registro:** Creación de un Registro de Áreas de Valor Ecológico o Registro de Tesoros Ecológicos de Puerto Rico y entregar un certificado al dueño del terreno donde se indica su valor y se le exhorta a conservarlo y protegerlo.
- **Designación de terrenos públicos:** Solicitar el traspaso al DRNA de áreas de valor natural propiedad del Estado Libre Asociado de Puerto Rico, para designarlas como Bosques Estatales, Refugios de Vida Silvestre, Reservas Naturales o Santuarios, y manejarlos para esos fines.
- **Acuerdos de manejo:** El dueño de un terreno firma un acuerdo con el DRNA o una entidad conservacionista donde ambos se comprometen a manejar el área de forma que se garantice su protección.

- **Alquiler:** Forma económica de conservar terrenos. Útil solamente cuando el dueño del terreno tiene interés genuino en la protección de su propiedad.
- **Servidumbre de conservación:** Mediante donación o venta, el dueño de un terreno cede el derecho a desarrollar el lugar.
- **Dedicación:** Reconocimiento oficial del valor natural de un área por parte de una entidad gubernamental o privada y la dedicación voluntaria del lugar a propósitos de conservación, además de los propósitos para los que ya se manejaba el área.
- **Permuta:** Permuta de terrenos del Estado con poco o ningún valor natural por terrenos privados de reconocida importancia agrícola.
- **Cabildeo:** Cabildear para obtener fondos para la adquisición y el manejo de áreas naturales.
- **Donación testamentaria:** Donación en testamento por parte de un ente privado de un lote de terreno con alto valor ecológico para la conservación del mismo.
- **Condonación de deuda contributiva:** La utilización de esta estrategia requiere legislación. Esta estrategia se coordina con otras, tales como la Servidumbre de Conservación y la Donación.
- **Banco de mitigación:** Listado de áreas de valor ecológico a ser compradas por desarrolladores para ser donados al ELA o entidad conservacionista a cambio de que se le permita la construcción de su proyecto.
- **Compra:** Compra de terreno con el fin de protegerlo.

Conclusiones

La adquisición de terrenos para la conservación de los recursos naturales es una tarea compleja, cuando se toma en consideración que requiere un análisis multidisciplinario e información exacta y precisa de las áreas de interés. La calidad y belleza de los paisajes ya no son los últimos criterios para la selección de un área. También es necesario tomar en cuenta otros criterios como los biológicos, sociales y económicos. Estos nuevos enfoques han conducido al desarrollo de varios conceptos y mecanismos de adquisición, protección y conservación de áreas naturales.

El análisis de parcho y la metodología de ecología paisajista presentadas por el Programa de Nature Conservancy fueron acercamientos efectivos para la elaboración de este plan de adquisición de terrenos en la ciénaga Las Cucharillas ya que toman en consideración el valor de las áreas verdes que han sido fragmentadas, la interconexión de estas, y la influencia del uso intenso del suelo. Por otro lado,

la presión de desarrollo industrial y la poca disponibilidad de dinero, debido al alto costo de los terrenos, hacen necesario que se adopten medidas concretas para asegurar la protección de la ciénaga Las Cucharillas y las áreas de alto valor ecológico que contribuyen al funcionamiento del ecosistema. Estas medidas concretas deben ir dirigidas a restringir el uso del suelo y facilitar la restauración de éstos.

La designación de las áreas de interés como reserva natural, mediante la aprobación de una resolución por parte de la Junta de Planificación y el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales fue la vía idónea para facilitar la adquisición de terrenos y la conservación de los recursos. Mediante este proceso, se permitió la participación de todos los actores a favor y en contra de la designación, facilitando el dialogo y la concretización de acuerdos que facilitan la conservación de la ciénaga Las Cucharillas a perpetuidad.

En síntesis, la elaboración de un plan de adquisición de terrenos estableció claramente los mecanismos y las acciones a seguir para priorizar las áreas de interés. Lo ideal es establecer mecanismos simples de información que sirvan de base para el desarrollo de modelos propios en los que se puedan tomar en cuenta otras variables representativas del área de interés.

Agradecimientos

A Rosa Hilda Ramos y demás miembros de las Comunidades Unidas Contra la Contaminación, quienes defendieron el rol y el valor de la lucha comunitaria.

Literatura citada

- Baker, W.L. (1989). A review of models of landscape change. *Landscape Ecology*, 2, 11-133.
- Bormann, F. & Likens, G. (1991). Pattern and process in forested ecosystem: Disturbance, development and the steady state. *Hubbard Brook Ecosystem Study*. 2nd Edition. New York: Springer Verlag.
- Castaño-Villa, G. J. (2005). Áreas protegidas, criterios para su selección y problemáticas en su conservación. *Boletín Científico: Museo de Historia Nacional*, 10, 79-101.
- Czech, B. (2002). A transdisciplinary approach to conservation land acquisition. *Conservation Biology* 16 (6): 1488-1479.

- Coggins, C.G. (1991). Natural resource conservation strategies. *Nature*, 334, 233-235.
- Esquer, A. (2002). Conservación de tierras privadas: herramientas legales. *Entorno*, 9, 1-16.
- Fundación de Tierra del Mundo. (2009). *La compra de tierras para la conservación*. Memorias de los simposios organizados por el comité nacional de la IUCN en Holanda y World Land Trust 2006/2008. Ámsterdam. Author.
- General Accounting Office. (1981). *Federal Land Acquisition and Management Practices*. (Report to Senator Ted Stevens by the US. General Accounting Office. CED-81-135). Washington, D.C.: US, Government Printing Office. Author.
- Hough, J.L. (1991). Social impact assessment: Its role in protecting area planning and management. *Social dilemmas and strategies in international conservation*. 3th Edition. Tucson, Arizona: University of Arizona Press.
- International Union for Conservation of Nature [IUCN]. (1994). *Directrices y Criterios Comunes para las áreas protegidas en la región del Gran Caribe: Identificación, Selección, Establecimiento y Gestión*. A Nature Conservation and Development Report. IUCN. Gland, Switzerland: Author.
- National Research Council. (1993). Setting priorities for land conservation. *The National Academy of Sciences Bulletin*. Washington, DC: US Government Printing Office: Author.
- Noss, RF & L.D Harris. (1997). Nodes networks and MUNs: Preserving diversity at all scales. *Environmental Management* 10, 299-309.
- Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. (2000). *Plan de manejo integral del estuario de la bahía de San Juan*. 1era edición. San Juan, PR. Autor.
- Municipio de Cataño (2002). Borrador plan de ordenamiento territorial, Fase IV. Junta de Planificación de Puerto Rico. Autor.
- Soule, M.E. (1991). Conservation tactics for a constant crisis. *Science*, 253, 744-750.

- Soulé, M. E., Boulger, D., Alberts, A., Sauvajot, R., Wright, J., Sorice, M., & Hill, S. (1988). Reconstructed dynamics of rapid extinctions of chaparral-requiring birds in urban habitat islands. *Conservation Biology*, 2, 75-92.
- The Nature Conservancy. (1987). Preserve selection and design manual. Arlington, Virginia: *The Nature Conservancy*. Author.
- Wildlife Conservation Society. (2001). Un concepto innovador para la conservación en el siglo XXI. *Paisaje Viviente*, 1, 26-38.
- Wildlife Conservation Society (2002). Using conceptual models to set conservation priorities. *Living Landscapes*, 5, 56-68.

**EVALUACIÓN PROYECTO PUERTO RICO GEOMODEL:
INVESTIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA RESERVA
NATURAL CIÉNAGA LAS CUCHARILLAS PARA MEJORAR
LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS TERRESTRES Y EL
APROVECHAMIENTO ACADÉMICO DE K-16+**

Carlos R. Morales-Agrinzoni, MSEM¹

Racional

Desde principios de la década del 2000 se ha creado la conciencia de la necesidad de tener una ciudadanía con los fundamentos básicos de alfabetización científica y ambiental que puedan contribuir en el análisis y la solución de problemas fundamentales como el cambio climático, el calentamiento global, la protección y conservación de nuestros ecosistemas y el uso sostenible de los recursos naturales (The Earth Science Literacy Initiative, 2009; Burckin, 2009; Penuel, & Gallagher, 2009). Para lograr este objetivo, es necesario establecer estrategias de educación encaminadas a que las comunidades entiendan los procesos dinámicos que ocurren en la naturaleza, y cómo nosotros somos parte de ese proceso.

La publicación más reciente (2011) del Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos (NRC, por sus siglas en inglés) destacó la relevancia que han tomado las ciencias terrestres en muchos aspectos de la sociedad humana debido a la información científica sobre los cambios climáticos que están ocurriendo en el Planeta, en gran parte provocados por actividades antropogénicas. El estudio de las ciencias terrestres constituye la fase conceptual para todas las ciencias relacionadas al ambiente y a la naturaleza, lo cual la convierte en una de las ciencias básicas en los currículos preuniversitarios (Bralower, Groffrey, & Manduca, 2008). Estos cursos deben proveer la base conceptual para lograr esa alfabetización ambiental y los programas de educación ambiental no formal. Sin embargo, varios estudios realizados en Estados Unidos para la Administración Oceánica y Atmosférica Nacional (NOAA, por sus siglas en inglés), revelan que la educación sobre las ciencias terrestres necesita mejoras significativas. Las deficiencias estriban en la desconexión entre la necesidad de una ciudadanía con alfabetización en temas ambientales y el currículo oficial de k-12^{mo} grado.

¹Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, PO Box 21150, San Juan, PR 00928, 787-766-1717; cmorales@suagm.edu

Durante el 11^{mo} Simposio de Educación de la Sociedad Americana de Meteorología (AMS, por sus siglas en inglés) celebrado en el 2004, se recomendaron una serie de estrategias para mejorar la enseñanza de las ciencias terrestres. Entre estas están la incorporación de la investigación a diferentes niveles educativos; el diseño y uso de programas y materiales educativos que refuercen la naturaleza interdisciplinaria de las ciencias terrestres y el desarrollo de redes de apoyo a través de asociaciones entre las diversas agencias gubernamentales, entidades privadas, organizaciones públicas y universidades. Según la AMS, con la incorporación de estas recomendaciones a la enseñanza de las ciencias terrestres se completa la adquisición de conocimiento y la formación de la conciencia ambiental en los ciudadanos.

Objetivos del programa PR-Geomodel

En el 2007, con el propósito de contribuir a mejorar la enseñanza de las ciencias terrestres en Puerto Rico, la Escuela de Asuntos Ambientales (EAA) de la Universidad Metropolitana (UMET) desarrolló el programa Puerto Rico Geomodel con fondos de la Fundación Nacional de las Ciencias (NSF, por sus siglas en inglés). Este programa tuvo el objetivo de crear un módulo de aprendizaje que integrara una red pedagógica de apoyo para reforzar la educación de las ciencias terrestres, tanto dentro como fuera del salón de clase. El sistema de apoyo estuvo compuesto por investigadores principales, así como profesores de la UMET y la Universidad del Turabo (UT), estudiantes sub-graduados y graduados de diferentes programas de ciencias ambientales de ambas universidades, maestros de escuelas públicas que abarcan los grados k-12^{mo}, y expertos de dos organizaciones no gubernamentales (ONG) relacionadas con las ciencias ambientales. Además, los padres y/o adultos responsables de los estudiantes de las escuelas impactadas fueron invitados a participar en las actividades del programa para ampliar el círculo de apoyo de los participantes. Por otro lado, el programa contempló el uso de los ecosistemas asociados a la Reserva Natural de la Ciénaga Las Cucharillas en Cataño como laboratorio para el desarrollo de las investigaciones.

Evaluación de proceso

Durante 5 años consecutivos, la EAA de la UMET como institución líder, junto a la UT, trabajaron con seis escuelas públicas de k-12^{mo} grado en los municipios de Caguas y Cataño, promoviendo la participación de estudiantes en el desarrollo de proyectos de investigación y actividades en el campo, con el propósito de incentivar carreras universitarias en el área de las ciencias (Tabla 1).

Tabla 1
Escuelas participantes del programa Puerto Rico Geomodel

Nivel	Escuelas de Cataño	Grado	Escuelas de Caguas	Grado
Elemental	Rafael Cordero	5 ^{to}	Abelardo Díaz	5 ^{to}
Intermedia	Onofre Carballeira	9 ^{no}	Nicolás Aguayo	9 ^{no}
Superior	Francisco Oller	10 ^{mo}	Manuela Toro	11 ^{mo}

En cada escuela se estableció un modulo de aprendizaje sobre ciencias terrestres con tres componentes: Geo-Clase, Academia Sabatina y el Geo Campamento de Verano (Tabla 2). Cada uno de estos componentes contó con una red de apoyo que facilitó el desarrollo de actividades y las experiencias de investigación en el campo.

Tabla 2
Componentes del programa Puerto Rico Geomodel

Componentes	Población impactada	Red de apoyo
Geo-Clase	K-12 ^{mo}	Maestros de K-12
		Líderes de ONG
		Estudiantes Sub-graduados
		Estudiantes Graduados
		Investigadores de UMET y UT
Academia Sabatina	9 ^{no} – 12 ^{mo}	Líderes de NGOs
		Estudiantes Sub-graduados
		Estudiantes Graduados
		Investigadores de UMET y UT
		Profesores de la UMET y UT
Geo-Campamento de Verano	10 ^{mo} -12 ^{mo} Maestros de K-12 ^{mo}	Líderes de NGOs
		Estudiantes Sub-graduados
		Estudiantes Graduados
		Investigadores de UMET y UT
		Profesores de la UMET y UT
		Maestros

El componente de Geo-Clase facilitó la integración de temas específicos de ciencias terrestres a los currículos de K-12^{mo} grado, a través de actividades en el salón de clase, experiencias de campo, apoyo y mentoría en el desarrollo de proyectos para la feria de científica, monitoreo de estaciones meteorológicas, recopilación y manejo de datos e investigación. Estas actividades fueron desarrolladas por una red de apoyo creada por los maestros de ciencias de cada salón, un estudiante graduado, un estudiante subgraduado y el investigador principal de la UMET o de la UT.

Por otro lado, la Academia Sabatina fue un componente de 10 sábados por semestre, en donde participaron 10 estudiantes de 9^{no} a 12^{mo} grado cada semestre. En este componente se trabajaron temas específicos de ciencias terrestres integrados a actividades de investigación en el campo, uso de equipos de investigación, manejo de datos y el uso de los sistemas de información geográfica (GIS, por sus siglas en inglés). Varios ecosistemas asociados a la Reserva Natural Ciénaga Las Cucharillas sirvieron de laboratorio para que los estudiantes participantes desarrollaran sus investigaciones.

El componente de Geo-campamento de Verano sirvió de centro de entrenamiento en ciencias terrestres para los estudiantes de 10^{mo} a 12^{mo} grado, durante cuatro semanas en junio durante los 5 años de implementación del programa. Durante el campamento, los participantes tuvieron la oportunidad de trabajar directamente con los estudiantes graduados y sub-graduados en investigaciones en el campo y realizar análisis químicos en el laboratorio. Los temas de investigación incluyeron: estructura forestal, productividad, reciclaje de nutrientes, composición química del suelo y biodiversidad en humedales. Para los maestros de k-12^{mo} grado, se diseñó una semana de talleres durante el mes de junio. Estos talleres se realizaron con el objetivo de brindarles más herramientas a los maestros para el desarrollo de actividades que complementaron el currículo de ciencias ambientales. Además, el proyecto integró el uso de la tecnología y las bases de datos de diversas agencias, como NOAA, en las actividades dentro y fuera del salón de clase.

Todos los años, el proyecto fue evaluado por un evaluador externo, quien analizaba los alcances y las limitaciones de cada uno de los componentes. De esta forma, el programa iba ajustando los objetivos y metas establecidas, y se determinaba el éxito de cada una de las estrategias implantadas.

Evaluación del impacto del Proyecto

El programa *Puerto Rico Geomodel* logró impactar directamente a 808 estudiantes de seis escuelas públicas de Cataño y Caguas de k-12^{mo} grado, desde

agosto 2007 hasta junio 2012 en el componente de Geo-Clase (Tabla 3). Bajo este componente, durante 5 años, el programa concentró sus esfuerzos en mejorar la educación y comprensión de las ciencias terrestres, así como en estimular las actividades prácticas de educación y de investigación de campo para ayudar a promover el interés por las carreras universitarias en las ciencias.

Tabla 3

Total de estudiantes de k-12^{mo} por escuela participante del programa PR Geomodel

Escuela	Grado	2007- 2008	2008- 2009	2009- 2010	2010- 2011	2011- 2012	Total
Rafael Cordero	5 ^{to}	25	25	25	23	25	123
Onofre Carballeira	9 ^{no}	26	28	25	30	28	137
Francisco Oller	10 ^{mo}	28	27	30	26	28	139
Abelardo Díaz	5 ^{to}	26	28	25	27	27	133
Nicolás Aguayo	9 ^{no}	30	28	27	26	28	139
Manuela Toro	11 ^{mo}	27	26	30	28	26	137
Total		162	162	162	160	162	808

La Geo-Clase ayudó a fomentar el interés en las escuelas a participar en las ferias científicas a nivel local y regional. Esto se logró a través del apoyo económico y los esfuerzos de mentoría que recibían los estudiantes de 9^{no} a 12^{mo} grado que participaban de la feria. La feria científica es un evento realizado por el Departamento de Educación Estatal y Federal, en el que los estudiantes presentan proyectos de investigación utilizando como base el método científico, para buscarle solución a los problemas que se plantean en cada uno de los proyectos.

Desde el 2007 hasta el 2012 hubo un incremento en la participación de las escuelas y la cantidad de trabajos que se presentaban durante la feria científica (Figura 1). Por dos años consecutivos, la escuela superior Francisco Oller de Cataño ganó el primer lugar en la feria científica regional bajo la categoría de ciencias ambientales. Este premio los llevó a participar de la Feria Internacional de Ciencias e Ingenierías (Intel ISEF, por sus siglas en inglés) celebrada en San Francisco en el 2009 y en Los Ángeles, California en el 2010.

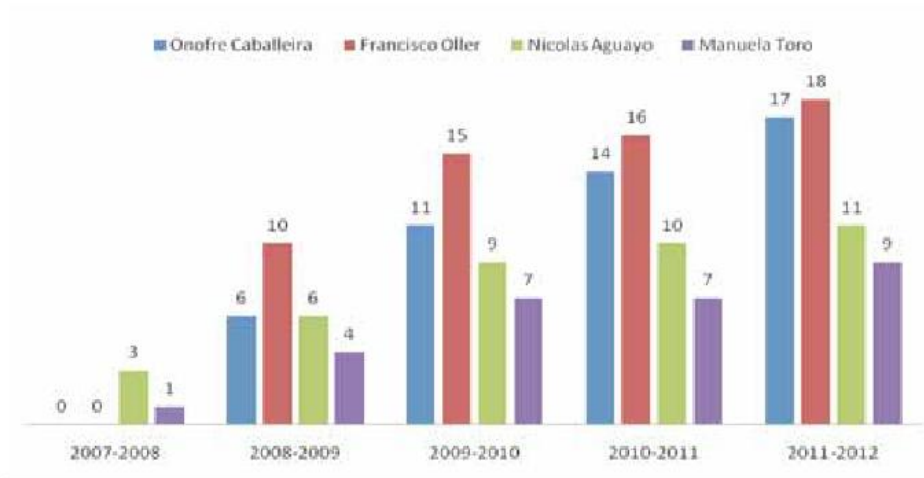


Figura 1. Cantidad de proyectos de feria científica presentados a nivel regional por escuela.

El aprovechamiento académico y la actitud de los estudiantes participantes del componente de Geo-Clase fue otra de las áreas en las que el programa tuvo un impacto positivo, según la data provista por el evaluador externo. En términos de aprovechamiento académico, los estudiantes de k-12^{mo} grado impactados en el salón de clase tuvieron un rendimiento más alto comparado con los grupos que no fueron impactados. El 98% de los estudiantes reflejaron un aprovechamiento académico entre bueno y excelente. Los datos de aprovechamiento académico fueron provistos por los maestros utilizando los criterios de excelente, bueno, eficiente y deficiente para evaluar el desempeño de los estudiantes.

Durante la trayectoria del proyecto, el 38.11% de los estudiantes impactados terminaron su escuela superior. El 3.57% ingresó a diferentes universidades del país con el interés de hacer un bachillerato en el área de ciencias e ingeniería. El resto de los estudiantes al finalizar el programa se encontraban en escuela intermedia y finalizando la escuela superior. Los estudiantes expresaron que el apoyo recibido en el salón de clase por parte de un estudiante graduado, y sub-graduado del programa de ciencias fue de gran ayuda para ellos. Lo más que les gustó de esta experiencia fue los viajes de campo, el desarrollo de actividades dentro del salón de clase, y el uso de equipos y tecnología como parte de la clase de ciencias terrestres.

El componente de Academia Sabatina logró impactar un total de 170 estudiantes de 9^{no} a 12^{mo} grado en las escuelas de Caguas y Cataño entre el 2007 al 2012. El 91.38% participó en más de una ocasión de estas actividades. Durante el Geo-Campamento de Verano, el programa impactó un total de 70 estudiantes de

10^{mo} a 12^{mo} grado en ambos municipios. El 93.7% de los estudiantes participaron en más de una ocasión de este componente.

Tanto la Academia Sabatina como el Geo-Campamento de Verano, tenían un mayor énfasis en la investigación y trabajos de campo, lo que resultó en el aumento de interés de los estudiantes en las ciencias (Figura 2). Por otra parte, los maestros participantes informaron de un marcado aumento en el interés hacia la ciencia y las matemáticas, así como una mejora significativa en el rendimiento académico de los estudiantes que participaron de ambos componentes. El 87% de los estudiantes que participaron de ambos componentes presentaron trabajos para la feria científica en sus respectivas escuelas. El 65% de los estudiantes participantes indicaron que estaban interesados en continuar una carrera en ciencias, ingeniería o matemáticas.



Figura 2. Estudiantes participantes del programa *Geomodel* durante la academia sabatina

En el aspecto de desarrollo profesional, el programa *Puerto Rico Geomodel* les brindó excelentes oportunidades a los maestros, estudiantes graduados y sub

graduados. Los maestros de k-12^{mo} indicaron que su interés aumentó en términos de motivarlos a buscar y desarrollar más actividades para complementar el currículo de ciencias en otros grupos. Esta motivación llevó a que de los 8 maestros participantes, 6 completaran una certificación en ciencias terrestres para el Departamento de Educación.

Mientras que los estudiantes graduados y sub-graduados de UMET y UT que trabajaron bajo el proyecto, indicaron que el proyecto les proporcionó una oportunidad para hacer investigación graduada y el cumplir con los requisitos de investigación en las clases de ciencias. Además, les brindó la oportunidad de presentar los resultados de las investigaciones en el Simposio Anual de Investigación de Sub-graduados en UMET en el 2008, 2009 y 2010; y en el Simposio de la Sociedad para el Avance de los Hispanos, Chicanos y Americanos Nativos en las Ciencias (SACNAS, por sus siglas en inglés) celebrado en San José, California en el 2011 y otros eventos científicos profesionales en Puerto Rico.

Implicaciones futuras

La creación de un módulo de aprendizaje con una red de apoyo pedagógica que integró una combinación de actividades en el salón de clases, experiencias de campo, apoyo en proyectos de feria científica y equipo técnico para recopilar datos e investigar fue la clave para que el programa *Puerto Rico Geomodel* lograra impactar de forma positiva la enseñanza de las ciencias terrestres en los currículos de k-12^{mo} grado de las escuelas participantes. Los resultados del programa claramente demuestran que la claridad y contenido de los materiales educativos, y la manera en que se emplean las técnicas de enseñanza tienen un impacto profundo en las habilidades del alumno para educarse. Este impacto debería lograrse en todas las regiones educativas del País.

La enseñanza de las ciencias terrestres tiene que ir a la par con el desarrollo profesional del maestro. Sin embargo, en Puerto Rico no existen currículos universitarios en ciencias terrestres para maestros. Esto hace necesario el desarrollo de talleres de capacitación, cursos intensivos y programas que vayan dirigidos a reforzar el desarrollo profesional del maestro en ciencias terrestres. De esta forma, el maestro puede obtener el conocimiento científico necesario para impartir los cursos y poder transmitir entusiasmo y retar al estudiante, desde el punto de vista intelectual, despertando así su interés por las ciencias.

El diseño curricular y la preparación de actividades educativas para el salón de clase deben relacionar a los estudiantes con su entorno. Varias investigaciones en

la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias validan la incorporación del entorno ambiental de la escuela como un laboratorio para poner en práctica los fundamentos que se discuten en el salón de clase (Dolan, 2009; Bulunuz, & Jarrett, 2009). La integración de los viajes de campo como parte del currículo de ciencias terrestres es fundamental para proveerle al estudiante conocimiento, destrezas y experiencias de primera mano. Además, estas experiencias de campo le permiten al maestro identificar aquellos lugares en Puerto Rico en los cuales se puede poner en práctica la discusión de los diversos fundamentos que se discuten en el curso, y al mismo tiempo le permite al estudiante aplicar los conocimientos adquiridos. Esto quedó evidenciado en el interés y el desarrollo de investigaciones por parte de los estudiantes de intermedia y superior en los ecosistemas asociados a la Reserva Natural Ciénaga Las Cucharilas.

Literatura citada

- Bralower, T. J., Geoffrey, F. P. & Manduca, C.A. (2008). Preparing a new generation of face earth's future. *Liberal Education*, 94, 20-23.
- Bulunuz, N. & Jarrett, O. (2009). Understanding of earth and space science concepts: Strategies for concept-building in elementary teacher preparation school. *Science and Mathematics*, 109, 276-286.
- Burckin, D. (2009). An investigation into the understanding of earth sciences among students and teachers. *Educational Science: Theory and Practice*, 9, 597-606.
- Dolan, T. (2009). Influence on future UK higher education. Student's perceptions and educational choices across geography, earth and environmental science. *Journal of Geography in Higher Education*, 33, 255-268.
- Earth Science Literacy Initiative (2009). *Earth science literacy principle: The big ideas and supporting concepts of earth science*. Recuperado de www.earthscienceliteracy.org
- Penuel, W. R. & Gallagher, L.P (2009). Preparing teachers to design instruction for deep understanding in middle school earth science. *Journal of the Learning Science*, 18, 461-508.

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE DOS MITIGACIONES REALIZADAS EN LA CIÉNAGA LAS CUCHARILLAS

François Franceschini Lajara, MSEM¹, Juan C. Musa, Ph.D.¹

El estrés de las actividades humanas es un factor determinante en la degradación de muchos de los ecosistemas, como los humedales y estuarios. Estos cambios muchas veces resultan en la pérdida de los servicios que estos ecosistemas ofrecen. Además del daño ecológico, el impacto crea condiciones adversas en el ámbito socioeconómico. Es por eso que para encontrar soluciones a los problemas ambientales, se requiere de opciones que integren los factores sociales, económicos y del conocimiento científico-ambiental. Una de las estrategias más utilizadas para contrarrestar la degradación de los ecosistemas es la mitigación en áreas alteradas. Sin embargo, muchas de las mitigaciones llevadas a cabo en Puerto Rico permanecen sin la debida evaluación de si estas en verdad cumplieron con su propósito. Es por esto, que es necesario realizar análisis de las prácticas de mitigación en humedales que actualmente se llevan a cabo para proteger los recursos naturales y establecer el balance ecológico.

Del 2005 al 2006, se desarrollaron dos proyectos de mitigación en la ciénaga Las Cucharillas en Cataño por parte de compañías externas. La primera fue realizada por la empresa Ambienta en un acre de terreno que pretendía reparar el daño ocasionado por la construcción de un nuevo acceso a la carretera PR-869 a unos pozos de agua propiedad de Bacardí Corp. En esta mitigación, se cambió el contorno del suelo, se introdujeron nuevas especies de plantas y se desarrolló el control de especies invasivas. Las especies arbóreas introducidas en esta mitigación fueron *Pterocarpus officinalis*, *Rhizophora mangle*, *Annona glabra*, *Laguncularia racemosa* y *Thespesia populnea*. La segunda mitigación fue llevada a cabo por la firma Reforesta en un lugar adyacente a la mitigación anterior en dos acres de terreno, como requisito para poder construir instalaciones industriales de Flexitank. Los objetivos de esta mitigación fueron el incrementar la biodiversidad por medio de la restauración del humedal boscoso; y restaurar la calidad del humedal en su capacidad de almacenamiento de carbono, nutrientes, y su calidad de agua. En esta mitigación, las especies arbóreas introducidas fueron: *Pterocarpus officinalis*, *Rhizophora mangle*, *Annona glabra*, *Languncularia racemosa*, *Thespesia populnea* y *Manilkara bidentata*.

¹Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, PO Box 21150, San Juan, PR 00928, 787-766-1717; jmusa@suagm.edu

El tipo de humedal a establecerse a través de las mitigaciones está clasificado como *Palustrine, forested, broad-leaf evergreen/ emergent, persistent, seasonally flooded* (PFO3/EMIC).

Evaluamos ambos proyectos de mitigación, dos años después de culminados, para caracterizar la condición de la biodiversidad de ambas mitigaciones. Existe una gran variedad de técnicas para la evaluación de humedales, pero todas necesitan considerar los valores (valor dado por la sociedad) y funciones ecológicas (procesos químicos, físicos y biológicos). Para evaluar las condiciones anteriores a las mitigaciones de humedal, utilizamos una parcela anexa a las mitigaciones que representa la condición base del terreno que nombramos Parcela 1 (Figura 1). Las demás áreas mitigadas las identificamos como Parcela 2 y Parcela 3 (Figura 1). Para tener una comparativa con un humedal boscoso, utilizamos el Bosque de *Pterocarpus* propiedad del Fideicomiso de Conservación de Puerto Rico (FCPR), en Dorado, que nombramos Parcela 4 (Figura 2).

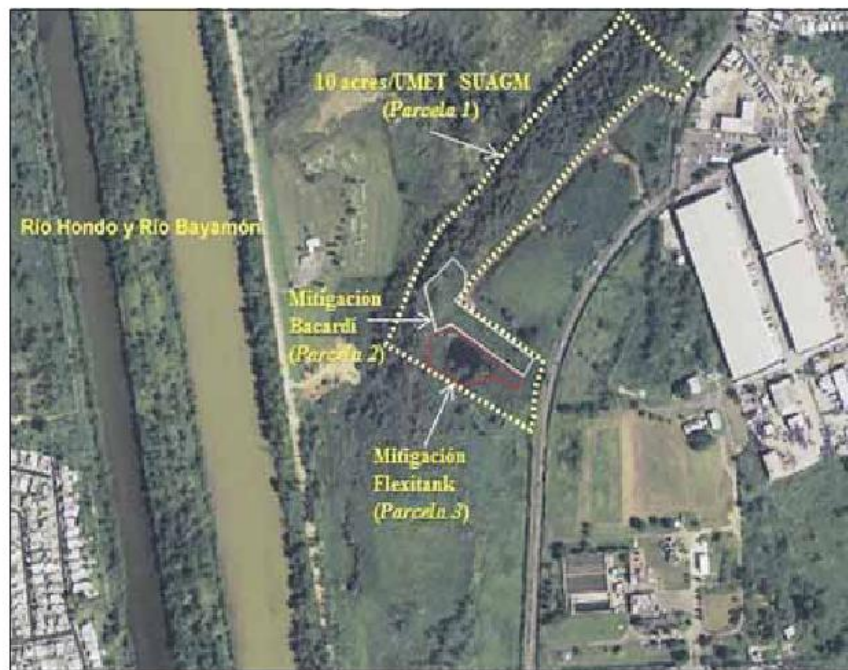


Figura 1. Foto aérea del área de estudio que comprende las Parcelas 1, 2 y 3 en la ciénaga Las Cucharillas.



Figura 2. Foto aérea del área de estudio que comprende la Parcela 4 en bosque de *Pterocarpus*, Dorado

Con el propósito de evaluar las mitigaciones llevadas a cabo en este humedal, utilizamos una adaptación de la metodología *Wetland Rapid Assessment Procedure* (WRAP, por sus siglas en inglés) desarrollada por la División de Manejo de Recursos Naturales del estado de Florida. El WRAP provee un índice para evaluar humedales para propósitos de preservación y restauración utilizando una base de datos numérica que tiene un rango establecido para variables individuales tanto ecológicas como antropogénicas. Mediante una descripción del área de estudio, se evalúan los atributos del ecosistema utilizando un índice de calificación de variables. Éste establece que un sistema en condiciones idóneas tiene un puntaje de 3, mientras que un sistema que ha sido impactado negativamente y está en condiciones precarias, tiene un puntaje de 0. Para obtener la puntuación WRAP se realiza una operación matemática, y se expresa como: la suma de todas las variables dividido entre la suma de las puntuaciones máximas posibles para las variables de calificación. La metodología WRAP, aunque no fue diseñada para comparar ecosistemas entre sí, puede ser utilizada en la evaluación comparativa de ambos ecosistemas utilizando solamente los criterios establecidos. Sin embargo, la metodología no clarifica todos los criterios y los detalles relacionados al uso, la cobertura y los formularios que se asignan a varios polígonos utilizados para la creación de un mapa codificado de usos de terrenos.

Para esta investigación, utilizamos el mismo puntaje donde un sistema en mejor estado ecológico es aquel que obtuviese un valor de 3 en la escala y con severo impacto aquel con valor de 0. Los criterios de vegetación que utilizamos de acuerdo con la escala WRAP fueron: (a) utilización de la vegetación por la vida silvestre, (b) presencia de hábitat y/o estrato vegetal superior o de árboles, (c) estrato de arbustos, (d) cobertura vegetativa del humedal (e) cobertura en tierras altas adyacentes y en la zona de amortiguamiento del humedal, (f) hidrología del humedal, (g) la calidad del agua que entra al humedal y los sistemas de aguas usadas.

Los criterios determinantes y específicos para la fauna fueron (a) índice de puntuación para el uso por vida silvestre (WU, por sus siglas en inglés); (b) uso de la arboleda y dosel del humedal (O/S); (c) *índice de puntuación para arboleda y dosel del humedal* (O/S); (d) la cobertura vegetativa del humedal (GC); (e) el índice de puntuación para cobertura vegetativa (GC); (f) las tierras adyacentes y la zona de amortiguamiento; (g) el *índice de puntuación para indicadores de campo de la hidrología del humedal* (HYD); y (f) el *índice de puntuación para la calidad de aguas que entran al humedal* (WQ).

Evaluación de las Parcelas

Los valores y las funciones en el área de estudio previo a las mitigaciones, estaban en estado de deterioro y degradación. Las especies dominantes eran: yerba venezolana (*Paspalum fasciculatum*), malojillo (*Brachiaria purpurascens*), enea (*Thypha domingensis*), todas las gramíneas (*P. fasciculatum*), (*B. purpurascens*), y especies forrajeras (*T. domingensis*) relacionadas a humedales herbáceos. La Tabla 1 resume las puntuaciones de los criterios evaluados en las parcelas estudiadas.

En la Parcela 1, el área de referencia con las condiciones iniciales del terreno, es una compuesta principalmente por mangle blanco en estado intermedio de desarrollo. Mediante el criterio de utilización por vida silvestre, documentamos la presencia de hábitat de niveles trópicos altos de *Leptodactylus albilabris*, *Ardea alba*, *Ixobrychus exilis*, *Bufo marinus*, *Euplectes franciscanus*, *Euplectes afer*, *Hypostomus plecostomus* y *Oreochromis mossambicus*. Este criterio obtuvo una puntuación de 1.5. El criterio de arboleda y dosel del humedal es no existente debido a que el humedal es herbáceo. El criterio de soporte de hábitat o zona de amortiguamiento fue mayor de 30 pies, pero menor de 300 pies y dominado por especies exóticas e invasivas. Éste obtuvo una puntuación de 1.5.

Tabla 1

Puntuación de los criterios de evaluación de las áreas estudiadas

Criterios de evaluación	Parcela 1 Condición Base SUAGM	Parcela 2 Mitigación Bacardí	Parcela 3 Mitigación Flexitank	Parcela 4 Bosque FCPR
WU	1.5	2	2	2.5
OS	N/A	2	2.5	3
GC	0	2	1.5	N/A
Buffer	1.5	1.5	1.5	2.5
HYd	0.5	3	3	2.5
WQ	2.06	2.5	2.5	2.12
Puntuación WRAP	0.36	0.72	0.72	0.84

La hidrología de la Parcela I fue alterada en el pasado provocando un hidro-periodo inadecuado que no aporta a las condiciones necesarias para la vida de la comunidad de plantas hidrofíticas del humedal, lo cual lo cataloga en una puntuación de 0.5. El criterio de calidad de agua lo determinamos a base del origen de las aguas. La calidad del agua que entra a la Parcela está íntimamente relacionada a la calidad del agua de escorrentía y flujo natural que reciben del caño Aguas Frías que discurre por el antiguo cauce del río Bayamón. Al momento del estudio, en el perímetro estudiado no encontramos ninguna descarga directa o indirecta de aguas usadas. La zona de amortiguamiento consiste de áreas de pastoreo abandonadas. La puntuación para este criterio fue de 2.06. La puntuación final de la parcela condición base fue de 0.36. Esta puntuación es característica de áreas ecológicamente degradadas.

La Parcela 2 es un humedal herbáceo-boscoso dominado por las especies arbóreas de *Pterocarpus officinalis*, *Rhizophora mangle*, *Annona glabra*, *Laguncularia racemosa* y *Thespesia populnea*. En el criterio de utilización de vida silvestre, esta parcela obtuvo una puntuación de 2. Evidenciamos la presencia de reptiles, aves y anfibios. Estos fueron, *Leptodactylus albilabris* (rana de labio blanco), *Ardea alba* (garza real), *Ixobrychus exilis* (martinetito), *Bufo marinus* (sapo común), *Hypostomus plecostomus* (pleco), *Oreochromis mossambicus* (tilapia), *Trachemys s. stejnegeri* (jicotea), *Rana catesbeiana* (rana mugidora) y *Cardisoma guanhumí* (juey común). En el criterio de arboleda y dosel del humedal obtuvo una puntuación de 2. Tuvo menos de un 25% de plantas indeseables; presentó evidencia de reclutamiento de plántulas germinadas de los árboles sembrados y evidencia mínima de enfermedades o daño por plagas o enfermedades. Para el criterio de coberturas obtuvo una puntuación

de 2, con menos de un 25% de plantas indeseadas. Las zonas de amortiguamiento obtuvieron una puntuación de 1.5, la cual contiene plantas características al humedal. Presentó evidencia de protección de vida silvestre, áreas de anidaje, alimentación y conexión a otros ecosistemas. El criterio de hidrología recibió una puntuación de 3, ya que los árboles sembrados no presentaban signos de estrés por el hidro-periodo. En el criterio de calidad de agua obtuvo una puntuación de 2.5 ya que los terrenos aledaños consisten de áreas en desuso. La puntuación final fue de 0.72.

Clasificamos la Parcela 3 en un humedal herbáceo-boscoso que está dominado por las mismas especies de la Parcela 2. En el criterio de utilización de vida silvestre obtuvo una puntuación de 2. Evidenciamos la presencia de reptiles, aves y anfibios similares a la Parcela 2. En el criterio de arboleda y dosel del humedal, obtuvo un 2.5, y presentó árboles en etapas reproductivas y en fruto. Tuvo menos de un 25% de plantas indeseables, y presentó las mismas características de la Parcela 2. En el criterio de coberturas, obtuvo una puntuación de 1.5. Evidenciamos una presencia reducida de coberturas debido al manejo periódico antropogénico. Los demás criterios obtuvieron las mismas puntuaciones que la Parcela 2.

Finalmente, la Parcela 4 es un humedal boscoso dominado por *Pterocarpus officinalis*. El criterio de utilización de vida silvestre obtuvo una puntuación de 2.5. Presentó una presencia moderada a fuerte, según las señales de utilización por fauna local de niveles tróficos altos, poca evidencia de macro-invertebrados, fuentes de alimento y protección adecuada, y mínima evidencia de disturbio antropogénico. En el criterio de arboleda y dosel del humedal obtuvo un 3 y no presentó evidencia de plantas indeseables. Además, mostró evidencia de reclutamiento natural de los árboles nativos y potencial protección para hábitat. En el criterio de coberturas de suelo, obtuvo un n/a, característico de humedales boscosos adultos con dosel completamente desarrollado. En el criterio de zona de amortiguamiento obtuvo una puntuación de 2.5. En el criterio de hidrología obtuvo un 2.5. No encontramos evidencia de plantas en estrés por plagas o enfermedades. Evidenciamos un hidro-periodo natural, consistente durante todo el año. No encontramos evidencia de estructuras con efectos negativos en el área ni pérdida de las propiedades del suelo orgánico. En el criterio de calidad de agua, obtuvo un 2.12 debido a la presencia de un campo de golf cercano al lugar y al flujo de agua que llega al humedal. También se encuentran casas unifamiliares cercanas a las fuentes de agua que nutren al humedal y la zona de amortiguamiento. La puntuación final del bosque fue de 0.84, el más alto entre las zonas evaluadas.

Panorama general

El dosel de los árboles y arbustos de las Parcelas 2 y 3 comparadas entre sí, presentan una cobertura menor a la Parcela 4 debido a la edad de establecimiento de los árboles. En las Parcelas 3 y 4 no se encontró presencia significativa de coberturas. Mientras que en la Parcela 2 existe la presencia moderada de coberturas hidrofíticas pioneras. Estas coberturas crean un microclima caracterizado por una mayor cantidad de sombra. Este microclima también es desarrollado en el bosque de *Pterocarpus* propiciado por los árboles maduros. La protección y soporte de hábitat en las Parcelas 2 y 3 tienen puntuaciones similares ya que no presentan la protección y soporte de hábitats ni tampoco áreas significativas de alimentación y anidaje que caracteriza el humedal boscoso maduro en la Parcela 4.

Los niveles de elevación del terreno proveen suelos saturados por más de nueve meses consecutivos y sobre siete meses continuos de inundación para las Parcelas 2 y 3. De igual forma, la hidrología favorece el establecimiento de plantas obligatorias para humedales. Ambos sitios presentan evidencia de un hidro-periodo sostenido evidenciado en el crecimiento, reclutamiento y estado de la flora hidrofítica y la presencia de fauna indicadora de humedales.

En la Parcela 4 se evidenció la alteración hidrológica provocada posiblemente por la construcción del campo de golf cercano al área de amortiguamiento y el desarrollo residencial para el cual crearon canales de drenaje. La calidad del agua que entra a las Parcelas 2 y 3 está íntimamente relacionada a la calidad del agua de escorrentía y flujo natural que reciben del antiguo cauce del río Bayamón y el caño de Aguas Frías. En el perímetro estudiado no encontramos ninguna descarga directa o indirecta de aguas usadas. La flora no presentaba signos de intoxicación en el follaje, su crecimiento se mostraba normal, la pigmentación de follaje se mostró uniforme y el estado de los troncos saludables.

Implicaciones futuras

A pesar de que no teníamos información base del estado vegetativo en las zonas mitigadas en la ciénaga Las Cucharillas, establecimos de manera muy preliminar la caracterización de las áreas y la aportación ecológica de las estrategias de mitigación. Estas estrategias pueden ser utilizadas para aumentar las aportaciones ecológicas y reducir el tiempo en alcanzar los parámetros establecidos durante la mitigación de humedales en Puerto Rico.

Los seis criterios utilizados en la metodología WRAP para evaluar y comparar las áreas de humedales son los que usa el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos en Puerto Rico debido a la ausencia de una metodología específica para el Caribe. Esta metodología fue diseñada para el estado de la Florida, lo cual representó una limitación para nuestra área de estudio. Recomendamos el desarrollo de unos criterios específicos para Puerto Rico y otras regiones del Caribe.

Referencias

- Ambienta Inc. (2007). *1st annual wetland mitigation monitoring report*. Unpublished manuscript. Submitted to US. Army Corps of Engineers Antilles Regulatory Section.
- Cowardin, L.M., Carter, V., Golet, F.C. & LaRoe, E. T. (1979). *Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States*. U.S. Department of Interior. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Service, Washington, D.C. 83pp.plus appendices. Recuperado de http://www.sfwmd.gov/portal/page/portal/xrepository/sfwmd_repository_pdf/wrap99.pdf
- Reforesta (2008). *Compensatory mitigation first year monitoring report*. Unpublished manuscript prepared for Flexitank Inc. Toa Baja, Puerto Rico.
- Franceschini, F. (2008). *Evaluación comparativa de dos mitigaciones realizadas en la ciénaga Las Cucharillas*. (Tesis de maestría sin publicar). Universidad Metropolitana, San Juan Puerto Rico.
- Florida Department of Environmental Regulation (FDER). (1994). *Delineation of landward extent wetlands and surface waters*. (Section 62-340.100). Florida. Recuperado de http://www.sfwmd.gov/portal/page/portal/xrepository/sfwmd_repository_pdf/wrap99.pdf
- Thiesing, M.A. (2004). *An evaluation of wetland assessment techniques and their applications to decision making*. US Environmental Protection Agency, Region II, New York 10007-1866 USA.

US Fish and Wildlife Service (USFWS). (1993). National list of plant species that occur in wetlands: Northwest (Region 9). *Biological Report*, 88, (26.9).

COMPOSICIÓN DE METALES PESADOS EN LAS HOJAS DE MANGLE EN LA PENÍNSULA LA ESPERANZA, CATAÑO

Carla L. Mejías Rivera, MSEM¹, Juan C. Musa Wasil, Ph.D.¹

Los estuarios son zonas de transición entre ecosistemas de agua dulce y agua salada donde ocurren miles de reacciones químicas, y la productividad biológica alcanza niveles considerables, además de ser de gran interés social y económico. El ecosistema del manglar está asociado a estas zonas estuarinas, el cual provee protección contra la erosión costera, son criaderos de muchos organismos, algunos de ellos en peligro de extinción, y poseen capacidades para remover contaminantes como los metales pesados.

En el estuario de la bahía de San Juan ubica la península La Esperanza, la cual forma parte de la Reserva Natural Ciénaga Las Cucharillas en Cataño. La misma recibe el impacto de aguas de escorrentías que discurren por ocho municipios de los más urbanizados de la Isla. Estas aguas cargan consigo contaminantes procedentes de industrias, descargas de aguas usadas y otras fuentes dispersas. En la península La Esperanza podemos encontrar tres de las cuatro especies de mangle existentes en Puerto Rico: *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*. El *Rhizophora* (mangle rojo) es un manglar de franja, el cual se encuentra más cercano a la costa y posee raíces adventicias ancladas en sedimentos de baja salinidad. *Laguncularia* (mangle blanco) y *Avicennia* (mangle negro) son especies forestales de cuenca que se encuentran en sedimentos/suelos de mayor salinidad y menor humedad en comparación con *Rhizophora*.

Varios estudios han demostrado la capacidad de los manglares para tolerar la contaminación y depurar el ecosistema donde se encuentran, ya sea por acumulación de contaminantes en diversas partes de la planta o por ayudar en la biotransformación de los mismos. Otro proceso que ocurre en los manglares es la retranslocación (RT). Este proceso ha sido estudiado ampliamente para nutrientes y es comúnmente conocido como *uso eficiente de nutrientes*. La RT puede ser asociada a un mecanismo de reciclaje que desarrollan las plantas cuando se encuentran en suelos deficientes en nutrientes, con el propósito de reutilizar los nutrientes de forma eficiente para su sobrevivencia. El mecanismo se basa en la extracción del nutriente del suelo y su translocación, a las diversas partes de la planta incluyendo las hojas.

¹Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, PO Box 21150, San Juan, PR 00928, 787-766-1717; cmejiasrivera@yahoo.com

Una vez las hojas están en su periodo de abscisión devuelven los nutrientes al floema para que sean reutilizados. Este proceso puede ser calculado utilizando una fórmula (RT%) que compara la concentración de nutrientes en hojas senescentes (última etapa en el desarrollo ontogénico de una hoja) con la concentración en hojas verdes. La retranslocación es un mecanismo de sobrevivencia muy sabio que de encontrarse que suceda de la misma manera con metales pesados que con nutrientes, será de gran ayuda en el proceso de remediación de áreas contaminadas en Puerto Rico y alrededor del mundo.

Otro factor utilizado para medir la capacidad remediativa de las plantas es la bioconcentración (BCF, por sus siglas en inglés). El BCF es la razón de la concentración de los contaminantes o nutrientes en alguna parte específica de la planta, en relación con la concentración de la misma sustancia disponible en el suelo/sedimento donde la planta esté localizada. El resultado de este cálculo confirma el RT%, ya que a menor retranslocación se espera mayor bioconcentración en las hojas senescentes.



Figura 1. Área de estudio en la península La Esperanza, Cataño

Con el propósito de medir estos factores (RT% y BCF) en las tres especies de mangle de interés, llevamos, a cabo un estudio en tres zonas (A, color rojo; B, color anaranjado; y C color verde) dentro de la península La Esperanza (Figura 1). Los resultados de los análisis, según métodos químicos estandarizados, no sólo confirmaron las capacidades remediativas de los manglares y la indudable presencia de metales pesados en los sedimentos del área de estudio sino que también abrieron paso a un nuevo campo de investigación y conocimiento. Detectamos 15 metales

pesados presentes en los sedimentos de nuestra área de estudio de los cuales el hierro (Fe), magnesio (Mg) y aluminio (Al) demostraron tener las concentraciones más altas en comparación con los suelos del estado de la Florida. Además de estos tres metales, seleccionamos el mercurio (Hg), arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), plomo (Pb), selenio (Se) y cinc (Zn) para realizar el cálculo de RT% y BCF en las hojas de los mangles, tanto verdes como senescentes. La selección de los metales fue basada en su toxicidad y en sus concentraciones relativamente altas. Entre las tres zonas estudiadas (Figura 1), las concentraciones de metales pesados en sedimentos de la Zona A fueron las más altas, específicamente las de selenio y mercurio. Mientras que el cadmio tuvo las concentraciones más altas en todas las zonas estudiadas.

Los resultados en el RT% y la razón de BCF sugieren un patrón bastante marcado entre las especies, en el que se observa la confirmación de que a menor RT% mayor será el BCF. Se encontró que los metales con menor RT% fueron Fe, Al, Mg, Hg y Zn, y aunque la mayoría de estos elementos son considerados nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas, dependerán grandemente de la concentración a la cual se encuentren en el sistema, de lo contrario podrían ser nocivos. A pesar de que no obtuvimos significancia estadística en los resultados a nivel de las especies, sí obtuvimos significancia para algunos metales pesados en algunas de las especies, principalmente en hojas senescentes. *La Avicennia* resultó ser la especie con menor RT%, por ende, mayor BCF de una variedad más amplia de metales pesados en comparación con las otras dos especies. Como se mencionó anteriormente, los resultados de BCF complementaron los de RT% sugiriendo así que las tres especies de mangle estudiadas tienden a bioconcentrar metales pesados a diferentes concentraciones en las hojas senescentes. Al comparar las tres especies, el RT% aumentó en el siguiente orden: *A.germinans* < *L.racemosa* < *R.mangle* mientras que el BCF se comportó de manera contraria. Este comportamiento puede ser perjudicial debido a que la bioconcentración en hojas senescentes incrementaría la exportación de biomasa contaminada al ecosistema circundante.

Referencias

- Aerts, R. (1996). Nutrients resorption from senescing leaves of perennials: Are there general patterns? *Journal of Ecology*, 84(4), 597.

- Allison, S.D. & Vitousek, P.M. (2004). Rapid nutrient cycling in leaf litter from invasive plants in Hawaii. *Oecologia*, 141(4), 612-619. doi:10.1007/s00442-004-1679-z
- Chen, M., Ma, L.Q. & Harris, W.G. (1999). Baseline concentrations of 15 trace elements in Florida surface soils. *Journal of Environmental Quality*, 28(4), 1173-1181.
- Hammad, D.M. (2011). Cu, Ni and Zn phytoremediation and translocation by water hyacinth plant at different aquatic environments. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(11), 11-22.
- Kabata-Pendias A., Dudka S. & Chlopecha A. (1992). Background levels and environmental influences on trace metals in soils of the temperate humid zone of Europe. *Biochemistry of Trace metals*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Mejías, C., Musa, J., & Otero, J. (2013). Exploratory evaluation of retranslocation and bioconcentration of heavy metals in three species of mangrove at Las Cucharillas Marsh, Puerto Rico. *Journal of Tropical Life Science*, 3 (1), 14-22.
- Mellem, J., Baijnath, H. & Odhaw B. (2009). Translocation and accumulation of Cr, Hg, As, Pb, Cu and Ni by *Amaranthus dubius* (Amaranthaceae) from contaminated sites. *Journal of Environmental Science and Health. Part A* (44), 568-575.

COMPOSICIÓN DE AVES ACUÁTICAS DE LA LAGUNA SECRETA EN LA CIÉNAGA LAS CUCHARILLAS, CATAÑO

Laura L. Fidalgo De Souza, MSEM¹ & Jorge F. Bauzá-Ortega, Ph.D., QE²

Abstract – This study assessed the Audubon Christmas Bird Count (CBC) made for the San Juan Bay Estuary Program (PEBSJ) during two periods (2000-2003, 2005-2006). We analyzed the composition and diversity of waterbirds of laguna Secreta in Cataño, Puerto Rico. In addition, we used the GAP analysis of Puerto Rico from the United States Forest Service, to analyze land cover (percent of natural wetland and urban development), within 500 meter buffer zone surrounding the bird observation transect. Diversity was calculated using the Simpson diversity index. The results revealed a total of 1,587 individuals of 22 species belonging to 9 families of waterbirds in la laguna Secreta. The diverse aquatic community structure there reflects that this habitat safeguards the diversity of resident and migratory birds of the urban city of San Juan. This wetland contains environmental and ecological elements that create niches where particular species of birds use as part of or their entire life cycle. Management strategies are offered as recommendations for improving monitoring and involving more citizens in the process. Future studies of distribution, behavior and habitat use of birds need to be done in order to understand the ecological factors influencing bird's diversity.

Palabras clave: Aves acuáticas, Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ), censos navideños de aves, índice de diversidad Simpson, análisis de GAP, ciénaga Las Cucharillas, laguna Secreta.

Introducción

La canalización de ríos, la extracción de arena, el uso desmedido de los recursos, el relleno de manglares y el desarrollo urbano han degradado el humedal de Las Cucharillas en Cataño que forma parte del estuario de la bahía de San Juan (Seguinot, 1997; PEBSJ, 2000). La fragmentación del hábitat a consecuencia de la expansión urbana, altera los procesos naturales en el ecosistema y pone en estado de vulnerabilidad las especies residentes (Donnelly et al., 2004). Los estuarios son

¹ Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, PO Box 21150, San Juan, PR 00928, 787-766-1717; lauralfidalgo@gmail.com

² Programa del Estuario de la Bahía de San Juan, PO Box 9509, San Juan, P. R., 00908, 787-725-8165; jbauza@estuario.org

hábitat de importancia para especies de aves acuáticas residentes y migratorias (Siegel et al., 2005), pues le proveen refugio y alimento.

Los censos de aves realizados dentro del estuario de la bahía de San Juan (EBSJ), han documentado alrededor de 160 especies de aves (PEBSJ, 2001) de las aproximadamente 350 especies que existen en Puerto Rico (Oberle, 2003). Entre estas, se incluyen especies de aves acuáticas reconocidas como vulnerables como la chiriría antillana (*Dendrocygna arborea*), el pato chorizo (*Oxyura jamaicensis*), el pato quijada colorada, (*Anas bahamensis*), y el gallinazo nativo (*Fulica caribaea*). Aunque existen estos datos, no existen estudios que revelen la composición y diversidad de aves acuáticas. Esta información contribuye al adelanto del Plan Integral de Manejo del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ, 2001), el cual intenta “proteger las poblaciones existentes de especies de aves vulnerables y en peligro de extinción, y proteger y restaurar sus hábitats” (p.166).

Estudiar los atributos de las poblaciones de aves acuáticas puede ser ventajoso para monitorear las condiciones del ecosistema del estuario (Seigel et al., 2005; Stolen et al., 2005). Si consideramos que las aves son sensibles a cambios ambientales, podemos utilizar las especies de esta comunidad como indicadores de cambios en la estructura, composición y funcionamiento del medio natural (Donnelly et al., 2004). Los estudios de aves en zonas urbanas ayudan a diseñar estrategias de manejo para los ecosistemas donde se encuentren, y sugieren cambios a los esquemas de desarrollo urbano que disminuyan los efectos negativos a la biodiversidad (Donnelly et al., 2004).

Las aves tienen una función ecológica importante en la dispersión de semillas y la reducción en el uso de plaguicidas (Sekercioglu, 2006). Parte de la alimentación de las aves omnívoras y herbívoras son semillas de plantas nativas que logran ser transportadas en los alrededores y en las afueras de las zonas estudiadas, originando la proliferación y diversificación de la flora de los humedales. Además, algunas especies de aves carnívoras cazan invertebrados e insectos (Sekercioglu, 2006), lo que conlleva la reducción de plagas que afectan los ecosistemas y la población humana local. Así, el monitoreo y preservación de aves acuáticas conllevará beneficios reales para la ecología y las poblaciones en Puerto Rico.

La economía local también puede ser beneficiada a través de la conservación de aves acuáticas. La belleza estética de estas aves atrae a millones de personas anualmente a diferentes partes del mundo para observarlas. Este pasatiempo ha producido un notable crecimiento en la industria del ecoturismo (Cordell & Herbert, 2002). Esta actividad puede ser introducida como parte de los atractivos

de la zona metropolitana; sin embargo, conlleva hacer estudios de las comunidades de aves para evitar los impactos al recurso.

Estudios de análisis espacial del desarrollo agrícola demuestran que existe una estrecha relación entre la pérdida y degradación de humedales con la pérdida y descenso de especies de aves acuáticas (Hongyu et al., 2004). Además, las presiones antropogénicas en aumento en los estuarios costeros pueden influenciar en la estructura de estas comunidades (DeLuca et al., 2008). Esta investigación evaluó la composición y diversidad de aves acuáticas dentro del EBSJ para enriquecer el Plan Integral de Manejo del Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. Además, promueve el aumento de estudios de avifauna que redunden en beneficio de la biodiversidad local y continental. Este análisis proporciona información fundamental sobre la comunidad de aves presente para el manejo efectivo que salvaguarde la productividad de estas especies en la ciénaga Las Cucharillas en Cataño.

Metodología

Llevamos a cabo un análisis de composición, abundancia y riqueza descriptiva y cuantitativa de la comunidad de aves acuáticas dentro de la ciénaga Las Cucharillas en Cataño. Los datos poblacionales de las aves acuáticas fueron recopilados de los censos navideños de aves (CBC, por sus siglas en inglés) realizados en el área de la laguna Secreta localizada en Las Cucharillas, Cataño. Miembros y voluntarios del PEBSJ llevaron a cabo los censos durante los años del 2000 al 2003 y del 2005 al 2006. La metodología utilizada para hacer los avistamientos de aves fue la del transecto lineal sin estimación de distancia del Dr. Joseph M. Wunderle, Jr. para aves del Caribe, implantado por el Servicio Forestal de los Estados Unidos (Wunderle, 1994).

La ciénaga Las Cucharillas (actualmente designada como Reserva Natural Ciénaga Las Cucharillas) está localizada en una zona húmeda subtropical. La temperatura anual fluctúa entre 27°C y 23°C. La precipitación promedio anual es aproximadamente 1,500 mm. De noviembre a abril son los meses de sequía, y de mayo a octubre de lluvia (PEBSJ, 2001). El transecto que estudiamos dentro de la ciénaga está localizado en el área de la laguna Secreta, al oeste de la carretera PR-165 en Cataño (Figura 1). Es uno de los principales cuerpos de agua del estuario de la bahía de San Juan. Las aguas que alimentan el sistema provienen de las quebradas Santa Catalina, Lajas y Diego, del municipio de Bayamón que conectan con el caño La Malaria. El sistema es altamente impactado por la pérdida y degradación de hábitat, desarrollo de infraestructura para industrias y vivienda,

especies invasoras, y contaminación atmosférica, de suelos y de agua. Esta área fue elegida para censar por ser de los pocos fragmentos de humedal conservados dentro de la zona metropolitana de la Isla, su fácil acceso y la riqueza de especies observada en censos anteriores.



Figura 1. Área del estudio; transepto Las Cucharillas, Cataño.

Consideramos dos escalas geográficas: la escala local para analizar la composición y diversidad de aves acuáticas por área censada, y la escala del paisaje para determinar la cobertura terrestre que compone el área de estudio del EBSJ. La población estudiada se compone de aves acuáticas residentes y migratorias observadas dentro del estuario de la bahía de San Juan. Se consideran aves acuáticas todas aquellas especies que necesitan forrajear (buscar alimentos), reproducirse, y/o refugiarse en o cerca del agua. Según la convención de Ramsar (Convenio Internacional para la Conservación y el Manejo de los Humedales), se define las *aves acuáticas* como “aves que dependen ecológicamente de los humedales”. Los datos de especies obtenidas en el transecto de la laguna Secreta sigue el orden taxonómico

que propone el Sistema de Información Taxonómica Integrada (ITIS, por sus siglas en inglés).

Con los datos organizados y estandarizados, hicimos el análisis de la composición y diversidad de aves acuáticas. Para analizar la composición y diversidad de aves acuáticas, elegimos las especies observadas de los censos, cuyas familias taxonómicas dependen de humedales. Consideramos la lista de familias representadas en el libro *Wetland Birds* (Weller, 1999) como criterio de selección. El estuario de la bahía de San Juan acoge especies de aves acuáticas vulnerables (chiriría caribeña, *Dendrocygna arborea*; pato quijada colorada, *Anas bahamensis*; gallinazo nativo, *Fulica caribaea*), y pelícano pardo, (*Pelecanus occidentalis*) (DRNA, 2004). Estas especies las incluimos dentro del estudio poblacional para determinar la importancia de la Laguna como hábitat que ampara su productividad.

El análisis del Acercamiento Geográfico para la Protección de Especies de Puerto Rico (GAP, por sus siglas en inglés), del Servicio Forestal Federal (Gould et al., 2008), lo utilizamos como base de datos para estudiar la cobertura terrestre de los transectos censados. El porcentaje de tipo de humedal y desarrollo urbano fueron calculados en un perímetro de amortiguamiento alrededor del transecto de 500 metros, perímetro utilizado anteriormente por estudios de hábitat (Kirsch et al., 2008). La información extraída del análisis de GAP, la utilizamos para comparar la relación entre la composición y diversidad de la comunidad de aves acuáticas por sitio con las capas de cobertura terrestre mencionadas, utilizando como herramienta de asociación diagramas de dispersión. De igual forma, analizamos en qué características de cobertura vegetal se observa la mayor abundancia de aves acuáticas.

Evaluamos la diversidad de especies de aves determinando el índice de biodiversidad de cada lugar del censo realizado. Calculamos el índice de biodiversidad de Simpson (Δ_s), que considera la recurrencia del número de especies (riqueza) y cantidad de individuos por especies (abundancia) que pueden presentarse en la comunidad de aves de un área específica (Brower et al., 1997). Mediante la ecuación: $\Delta_s = 1 - \sum n_i^2/N^2$. El número total de organismos por especies es n y el total de organismos de todas las especies es N . En este índice, 1 representa diversidad infinita y 0 ninguna diversidad. Significando que mientras el valor de Δ_s se acerca más a 1, mayor es la diversidad (Brower et al., 1997).

Durante un periodo de cinco meses (de febrero a mayo de 2009) analizamos los censos poblacionales de aves acuáticas del PEBSJ del 2000 al 2003, y del 2005 al 2006. Con la información obtenida, generamos un análisis descriptivo y cuantitativo

de composición de aves y biodiversidad de los sitios censados.

Para evaluar el estado migratorio de cada especie observada, utilizamos tres categorías: *migratoria de larga distancia* (MLD), *residente* (R) y *migratorias de corta distancia y residente* (MCD/R) (Azous, 2001). Las especies MLD se consideran aquellas que se encuentran parte del año en la Isla para invernar y emigran a Norteamérica a reproducirse. Las especies R están todo el año y se reproducen en la Isla; y las especies MCD/R incluyen algunos individuos que emigran a otras islas del Caribe parte del año, mientras que otros permanecen presentes todo el año.

El nivel trófico que representa cada especie de ave acuática observada se dividió en tres categorías: *Carnívoro-piscívoro* (Car-Pisc), cuya alimentación es primordialmente peces, *carnívoro-invertívoro* (Car-Inv), donde se alimenta mayormente de *invertebrados y omnívoros* (Omn), la fuente de alimentación es animal como vegetal dependiendo de la época del año. Determinamos el nivel trófico por especie cotejando las listas de aves del laboratorio de ornitología de la Universidad de Cornell y del centro de información de identificación de aves de Patuxent del Servicio Geológico de los Estados Unidos. Además de la composición y diversidad, analizamos la frecuencia en la cual cada especie fue observada durante los seis años de censo, clasificadas bajo tres categorías: *frecuente* (presencia en los seis años), *común* (tres años a cinco años) y *rara* (dos años o menos).

Consideramos el índice de diversidad Simpson porque no solamente calcula el número de especies y el total de individuos por especie observada, sino también la distribución proporcional de individuos o uniformidad que acontecen por especie (Brower et al., 1997). Por su parte, mediante el análisis GAP de Puerto Rico del USFS, calculamos la cobertura y porcentaje de hectáreas de humedal natural y desarrollo urbano dentro de una zona de amortiguamiento de 500 metros fijada alrededor de cada transecto censado.

Resultados y discusión

Documentamos un total de 1,587 individuos de 22 especies en 9 familias (Podicipedidae, Pelecanidae, Ardeidae, Anatidae, Accipitridae, Rallidae, Charadriidae, Laridae, y Alcedinidae) según los resultados de los censos de aves navideños en Las Cucharillas (Figura 2). La familia de patos (Anatidae) estuvo presente únicamente dentro de la laguna Secreta en Las Cucharillas. Las cinco especies de mayor abundancia fueron el gallinazo nativo (*Fulica caribaea*) con un 62%, pato chorizo (*Oxyura jamaicensis*) 18%, garza ganadera (*Bubulcus alba*) 7%,

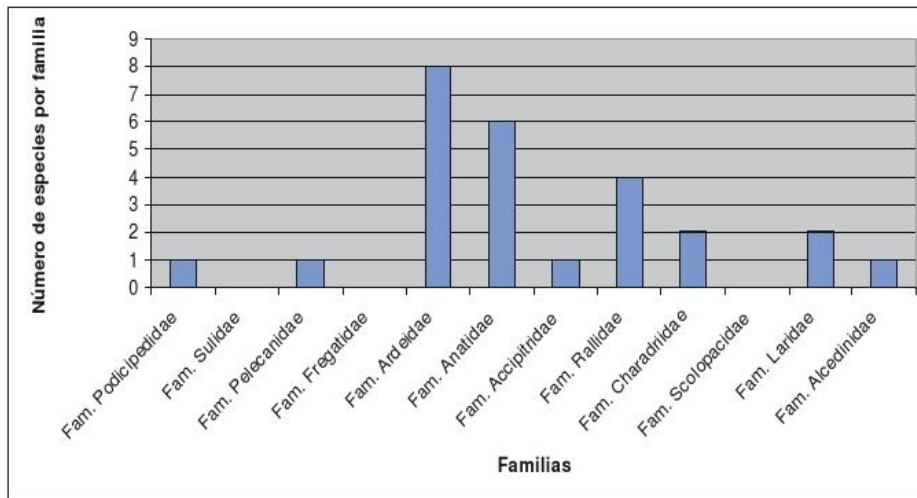


Figura 2. Familias de aves observadas en Las Cucharillas.

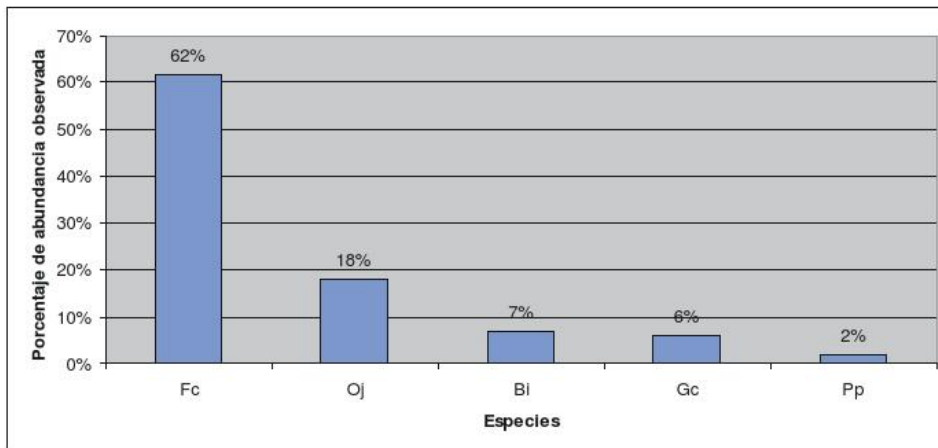


Figura 3. Porcentaje de las cinco especies de mayor observación en Las Cucharillas (Fc= *Fulica caribaea*, Oj = *Oxyura jamaicensis*, Bi = *Bubulcus alba*, Gc = *Gallinula chloropus* y Pp = *Podilymbus podiceps*).

gallareta común (*Gallinula chloropus*) 6%, y zaramago (*Podilymbus podiceps*) 2% del total de individuos observados (Figura 3).

El estado migratorio de las especies avistadas en el área de estudio fue de un 46% para especies R, un 31% MLD y 23% MCD/R (Figura 4). El nivel trófico de las especies avistadas fue de un 27% para especies Car-Pisc, 35% para especies Car-Inv y 38% para especies Omn. La frecuencia de las especies avistadas durante el periodo de estudio se compone de 18% frecuentes, 36% comunes y el 46% raras. El índice de diversidad de Simpson (Δ_s) de aves acuáticas calculado fue de 0.5809.

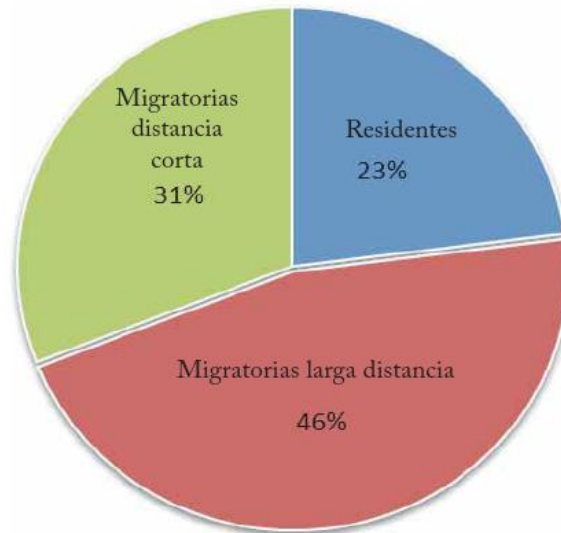


Figura 4. Estado migratorio observado en Las Cucharillas.

El análisis de GAP llevado a cabo por USFS reveló que Las Cucharillas tiene un 32% de humedal natural (7% manglares, 12% herbácea salina temporalmente inundada, 5% pastizal húmedo, y 8% otros) y 51% de desarrollo urbano. Según los resultados, Las Cucharillas contienen un hábitat óptimo para especies de aves acuáticas de las familias Anatidae y Rallidae (patos, gallaretas y gallinazos). La laguna Secreta es un lugar de aguas llanas y tranquilas que brindan espacio de descanso y alimentación para la aglomeración de patos residentes y migratorios, en particular el pato chorizo (*Oxyura jamaicensis*) especie en estado vulnerable. Los factores de abundancia de alimentos y protección de condiciones marítimas (viento y olas) han sido reconocidos como razones de presencia de especies de la familia Anatidae en hábitat estuarino más alejado de la costa (McKinney et al., 2006). La densa vegetación de hierbas marinas y manglares que rodean la orilla de la laguna, ofrecen guarida a las especies tímidas y solitarias de gallinazos y gallaretas, donde fue avistada la especie vulnerable gallinazo nativo.

Las Cucharillas posee un valor único comparado con otros lugares donde se han realizado los censos navideños (caño Martín Peña, bosque de Piñones y bahía de San Juan). Las especies de gallinazo nativo, gallareta inglesa, playero melódico, playero sabanero, gaviota argentea y de toda la familia Anatidae fueron observadas solamente en este lugar, al comparar los CBC de otras partes del estuario. El bajo índice de biodiversidad obtenido ($\Delta_s = 0.5809$), donde la abundancia de individuos por especie encontrada afectó la diversidad calculada, no es un absoluto representativo de la importancia actual de la zona. En particular, la laguna Secreta es un refugio

para aves acuáticas en medio de la zona industrial del municipio de Cataño.

Resulta posible que Las Cucharillas haya obtenido una baja diversidad y un alto porcentaje de especies rara vez vistas, a causa de las limitaciones visuales que componen el entorno del transecto censado; dado que la mayor parte de los avistamientos de aves acuáticas son en la laguna Secreta que es bordeada por hierbas que ocultan canales de agua. Estos canales son utilizados por especies solitarias, las cuales son difíciles de detectar. De acuerdo a los análisis, sigue siendo un lugar importante para especies vulnerables y en peligro de extinción. Las Cucharillas conforman un hábitat especial y único, que aporta con la diversidad de especies de aves acuáticas del EBSJ.

Al considerar que Las Cucharillas dispone de un lugar primordial para patos y gallaretas, es necesario llevar a cabo estudios futuros para entender el uso de estas especies en el área. Estudios de hábitat aumentan el conocimiento de los factores limitantes que controlan las poblaciones aviarias (Heath & Montevecchi, 2008). Una vez se determinan los factores limitantes, se puede llevar a cabo una estrategia más adecuada de manejo de hábitat dirigida, por ejemplo, a incrementar recursos alimentarios, controlar los depredadores, remover especies invasoras y crear lugares de refugio. Estas posibles prácticas de campo remueven los obstáculos físicos del ambiente y amplían la capacidad de acarreo de las familias Anatidae y Rallidae en la laguna Secreta.

En general los censos realizados obtuvieron un mayor porcentaje (46%) de aves migratorias (MLD) avistadas. Algo de esperar, tomando en cuenta la época del año, ya que en invierno especies de América del Norte buscan refugio en las costas subtropicales (Zarate et al., 2008). Estudios demuestran que la composición de las comunidades de aves acuáticas tienen menos similitud en los meses de invierno comparado con otras temporadas del año, a causa del alto movimiento de especies migratorias por cambios en la disponibilidad de recursos (Giri et al., 2008). Lo antes señalado amerita estudios futuros para conocer el uso de hábitat de aves migratorias en el EBSJ. Además de estudios que determinen las condiciones y recursos disponibles importantes para las aves, como lugar de parada de abastecimiento y refugio en la ruta migratoria.

Limitaciones

Los resultados obtenidos de la comunidad de aves acuáticas según los censos CBC deben ser considerados con prudencia. La composición y diversidad no representan la totalidad de las poblaciones de aves encontradas en Las Cucharillas,

debido a que el tamaño de la muestra no es representativo de toda el área geográfica. Los cálculos derivados de diversidad fueron simples, porque la metodología del CBC restringe el muestreo en dos asuntos: la ruta de observación no fue elegida aleatoriamente, y existen variantes en el esfuerzo realizado de observación dentro de la ruta (Dunn et al., 2005). Además, las poblaciones detectadas no figuran tener una distribución normal. No pudimos comprobar si existe una relación estrecha entre las características del hábitat y la abundancia de individuos encontrados, ya que la estadística aplicable no puede hacer asociaciones con menos de cinco pares de variables; por lo que necesitábamos al menos cinco transectos censados para hacer esta prueba de correlación Spearman.

Conclusiones y recomendaciones

El análisis de diversidad de aves acuáticas es importante para describir la estructura de la comunidad y el hábitat heterogéneo de Las Cucharillas (Robertson et al., 1998). Destacamos que el área de la laguna Secreta es un refugio esencial para especies de aves vulnerables (pato quijada colorada, pato chorizo, gallinazo nativo, y playero melódico), residentes y migratorias. La laguna Secreta sirve como parada de abastecimiento para una variedad de familias de aves acuáticas, haciendo de este sistema un hábitat primordial de agua dulce en medio de la zona metropolitana de San Juan. Este tipo de estudio ha sido escasamente realizado en la región del Gran Caribe (Currie et al., 2005), en particular en áreas fragmentadas de humedales (Guadagnin et al., 2005). El mismo generó información sobre la comunidad presente con el propósito de optimizar estrategias de manejo dirigidas a la preservación de aves acuáticas para el Programa del Estuario de la Bahía de San Juan.

El programa de censos de aves debe tomar en consideración la época reproductiva de las especies. Las temporadas de primavera y verano deben ser monitoreadas. Al expandir las observaciones a estas épocas del año, podemos observar qué especies utilizan el Estuario como lugar de anidaje. Además, podemos contabilizar la cantidad de nidos presentes dentro del sistema. Los datos obtenidos en el proceso contribuyen a seleccionar áreas de prioridad para el manejo de las poblaciones de aves, y para complementar estudios de éxito reproductivo. Se debe incrementar el número de transectos de observación de forma aleatoria. Cada transecto debe representar un tipo de humedal, considerándose solamente los límites del borde de ese tipo de humedal. Dentro de cada ruta de observación, se debe establecer físicamente o mediante un sistema de posicionamiento global los puntos de censo. Las rutas de observación deben mantener una continuidad en la

recopilación de datos por año. Se debe anotar la fecha, punto de observación dentro del transecto, tiempo de observación por punto, personal realizando la observación, condiciones climáticas y todas las aves avistadas y escuchadas.

Para evaluar las poblaciones reales presentes, se deben trabajar curvas de acumulación de especies (Loehle, 2003; Walther, 2001) para determinar si los datos recolectados de los censos demuestran el número real de especies presente en el área estudiada. De esta manera, se evitan errores en el estimado de la riqueza real del hábitat dentro del sistema observado. Sobre todo, para establecer la presencia de especies raras o vulnerables. Los análisis de distribución obtenidos mediante los censos deben tener como finalidad la adquisición de nuevas áreas de conservación. Mediante los índices de biodiversidad calculados y áreas de reproducción delimitadas, podemos seleccionar fragmentos de humedal dentro del estuario que actualmente no tienen prioridad para ser protegidos.

Los datos recopilados por los CBC, deben ser archivados en una base de datos que esté disponible al público. Así también otros censos deben complementar la información adquirida por los CBC. El tipo de datos recopilados es insuficiente para ciertos análisis estadísticos que le dan significado y valor a los datos. Se debe complementar el CBC con otros censos como el Censo de Aves en Reproducción (Link et al., 2008), el cual incluye especies en la temporada reproductiva de primavera y verano; el censo de transmisión de llamada (Lor et al., 2002), el cual aumenta la detectabilidad de especies solitarias como el pollo de mangle, gallinazo y martinetito; y los censos de aves nocturnas (Skoruppa et al., 2009), los cuales añaden datos poblacionales de especies nocturnas como la chiriría antillana y la yaboa real. Estos proporcionan un registro más completo para analizar los patrones y tendencias en la distribución poblacional.

Se recomiendan estudios futuros para conocer el uso de hábitat por las diferentes especies de aves y sustentar la importancia de los segmentos de humedales conservados en Las Cucharillas. Es importante determinar qué poblaciones se alimentan, reproducen y descansan en qué tipo de hábitat dentro del humedal. Esta información servirá de fuente para identificar áreas de prioridad para las aves acuáticas.

Esta investigación provee una base de datos sobre la composición y diversidad de aves acuáticas de la laguna Secreta en Las Cucharillas. Sirve como fuente de información básica, para contribuir a la implementación de estrategias de manejo de conservación de la avifauna local. Además, los datos recopilados nos permiten

identificar la información que falta por recoger, y así formular nuevas preguntas de investigación sobre las aves acuáticas del sistema.

Agradecimientos

Al Programa del Estuario de la Bahía de San Juan por proveer los datos de campo de los Censos Navideños de Audubon. Al Sr. Carlos Morales (UMET) por proveer su conocimiento sobre la Reserva Natural Ciénaga Las Cucharillas. Al Prof. Alexis Molinares por el enfoque ornitológico. Al Dr. William Gould (USDA Forest Service), quien puso al alcance las herramientas del análisis de GAP. Al Dr. Carlos Ramos, por la ayuda en el análisis de resultados estadísticos. Al Sr. José Enrique Rodríguez, Sr. Pedro Carrión del Corredor del Yaguazo, Inc., y todos los voluntarios de los Censos Navideños del PEBSJ.

Literatura citada

- Brower, J. E., Zar, J. H., & von Ende, C. N. (1997). *Field and laboratory methods for general ecology*. 4ta edición. E. U: WCB Mc Graw Hill. 177-187pp.
- Cordell, H.K., & Herbert, N.G. (2002). The popularity of birding is still growing. *Birding* 34: 54-59.
- Currie, D., Wunderle Jr, J. M., Ewert, D. N., Anderson, M. R., Davis, A., & Turner, J. (2005). Habitat distribution of birds wintering in Central Andros, The Bahamas: Implications for management. *Caribbean Journal of Science*, 41(1), 75-87.
- DeLuca, W. V., Studts, C. E., King, R. S. & Marra, P. P. (2008). Coastal urbanization and the integrity of estuarine waterbird communities: Threshold responses and the importance of scale. *Biological Conservation*, 141(11), 2669-2678.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (2004). Reglamento para Regir las Especies Vulnerables y en Peligro de Extinción en el Estado Libre Asociado de Puerto Rico. Reglamento Número 6766, 27-34 pp.
- Donnelly, R. E. & Marzluff, J. M. (2004). Designing research to advance the management of birds in urbanizing areas. *International Urban Wildlife Symposium*. Seattle, Washington.

- Dunn, E. H., Francis, C. M., Blancher, P. J., Drennan, S. R., Howe, M. A., Lepage, D., Robbins, C. S., & Smith, K. G. (2005). Enhancing the scientific value of the Christmas Bird Count. *The Auk*, 122(1), 338-346.
- Giri, B. & Kumar, M. (2008). Seasonal diversity and population status of waterbirds in Phewa lake, Pokhara, Nepal. *Journal of Wetlands Ecology*, 1(1/2), 3-7.
- Gould, W. A., Alarcon, C., Fevold, B., Jimenez, M. E., Martinuzzi, S., Potts, G., Quinones, M., Solorzano, M. & Ventosa, E. (2008). *The Puerto Rico GAP analysis project*. USDA, Forest Service, Río Piedras, Puerto Rico.
- Guadagnin, D. L. Peter, A. S., Carvalho, L. F., & Maltchik, L. (2005). Spatial and temporal patterns of waterbird assemblages in fragmented wetlands of Southern Brazil. *Journal of the Waterbird Society*, 28(3), 261-272.
- Heath, J., & Montevecchi, W. (2008). Differential use of similar habitat by Harlequin Ducks: trade-offs and implications for identifying critical habitat. *Canadian Journal of Zoology*, 86(5), 419-426. Retrieved from <http://search.ebscohost.com>, doi:10.1139/Z08-014
- Hongyu, L., Shikui, Z., Zhaofu, L., Xianguo, L., & Qing, Y. (2004). Impacts on wetlands of large-scale land-use changes by agricultural development: The small sanjiang plain, China. *AMBIO - A Journal of the Human Environment*, 33(6), 306-310.
- Kirsch, E. M., Ickes, B., & Olsen, D. A. (2008). Assessing habitat use by breeding great blue herons (*ardea herodias*) on the upper Mississippi River, USA. *Waterbirds*, 31(2), 252-267. doi: 10.1675/1524-4695(2008)31[252:AHUBBG]2.0.CO;2
- Link, W. Sauer, J., & Niven, D. (2008). Combining breeding bird survey and Christmas bird count data to evaluate seasonal components of population change in Northern Bobwhite. *Journal of Wildlife Management*, 72(1), 44-51. doi:10.2193/2007-299
- Loehle, C. (2003). A species accumulation method for reliable estimation of species richness from multiple samples. Recuperado de http://www.homepage.montana.edu/~hansen/documents/downloadables/richness_estimation.pdf

- Lor, S., & Malecki, R. A. (2002). Call-response survey to monitor bird population trends. *Wildlife Society Bulletin*, 30(4), 1195-1201. <http://www.jstor.org/stable/3784288>
- McKinney, R. A., McWilliams, S. R., & Charpentier, M. A. (2006). Waterfowl-habitat associations during winter in an urban north Atlantic estuary. *Biological Conservation*, 132(2), 239-249. doi:10.1016/j.biocon.2006.04.002
- Oberle, M. W. (2003). *Puerto Rico's birds in photographs*. 2da edición. Washington: Editorial Humanitas. 5pp.
- Programa del Estuario de la Bahía de San Juan (PEBSJ) (2001). *Plan integral de manejo y conservación para el estuario de la Bahía de San Juan* (Volumen 1). San Juan, Puerto Rico: United States Environmental Protection Agency.
- Ramsar. (1987). *Convention on wetlands of international importance especially as Waterfowl Habitat*. Recuperado de http://www.ramsar.org/key_conv_e.htm
- Seguinot Barbosa, J. (1997). *San Juan, Puerto Rico: La ciudad al margen de la bahía (Una visión geocológica y jurídica)*. 1ra edición. San Juan: Editorial GEO.
- Sekercioglu, C. H. (2006). Increasing awareness of avian ecological function. *TRENDS in Ecology and Evolution*, 21(8), 464-471.
- Siegel, A., Hatfield, C. & Hartman, J. M. (2005). Avian response to restoration of urban tidal marshes in the Hackensack Meadowlands, New Jersey. *Urban Habitat*, 3(1), 87-116pp.
- Skoruppa, M., Woodin, M., & Blacklock, G. (2009). Species richness, relative abundance, and habitat associations of nocturnal birds along the Río Grande in southern Texas. *Southwestern Naturalist*, 54(3), 317-323.
- Stolen, E. D.; Breininger, D. R., & Frederick, P. C. (2005). Using waterbirds as indicators in estuarine systems: Successes and perils. *Estuarine Indicators*. Boca Raton, Florida: CRC Press.

- Tian, B., Zhou, Y., Zhang, L., & Yuan, L. (2008). Analyzing the habitat suitability for migratory birds at the Chongming Dongtan Nature Reserve in Shanghai, China. *Estuaries, Coastal and Shelf Science*, 80, 296-302.
- Weller, M. W. (1999). *Wetland birds: habitat resources and conservation implications*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Wunderle, J. M. (1994). Census methods for Caribbean land birds. *Gen. Tech. Rep.* SO – 98. U. S. Department of Agriculture. 16 p. Recuperado de http://www.fs.fed.us/global/iitf/pubs/gtr_so098.pdf
- Zárate-Ovando, B., Palacios, E., & Reyes-Bonilla, H. (2008). Estructura de la comunidad y asociación de las aves acuáticas con la heterogeneidad espacial del complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas, Baja California Sur, México. *Revista de Biología Tropical*, 56(1), 371-389.

ESTRATEGIA DE MANEJO PARA LA COMUNIDAD DE MARIPOSAS EN EL ÁREA MITIGADA EN EL ANTIGUO CAUCE DE RÍO BAYAMÓN DE LA RESERVA NATURAL CIÉNAGA LAS CUCCHARILLAS

*Patricia Sanz Martínez, MSEM¹, Carlos Morales Agrinzoni, MSEM¹,
Vicente Quevedo Bonilla, MS², María Calixta Ortiz, Ph.D.(c)¹*

Abstract – This study assessed the butterfly community at the Las Cucharillas Marsh, natural reserve. The study area comprises 12 acres located specifically in the mitigated area besides the old Bayamón riversite. During August to September 2012, we established a “path” transept of 452.28m along the road with two entrances by rustic roads to identify butterfly species and their particular host and food plants. We identified 11 butterfly species, from which the most dominant species was the smooth *Pyrisitia euterpe* (48.68% AR) and the less dominant was *Ascia monuste eubotea* and *Wallengrenia otbo drury* (0.38% AR). These two species are classified as very common in the Island. Host plants were identified for 5 of the 11 butterfly species documented. The species *Pyrisia lisa Euterpe* and *Anartia jatrophae semifusca* have the highest abundance of individuals with an average relative abundance of 48.68% and 35.66%, respectively. The diversity of butterfly species was higher during the month of September, although this conclusion is not generalized considering the limitations of the study time period. The distribution of butterflies is more abundant in humid and open spaces. We recommend the development of a research center to conduct studies of butterfly community during all the year. It is important to plant vegetation in pertaining to the Asclepiadaceae family, to attract other important species of butterflies.

Palabras clave: Lepidópteros, biodiversidad, abundancia relativa, índice de Menbinick, conservación, humedales, Las Cucharillas, Puerto Rico.

Introducción

Los lepidópteros son especies de gran valor que funcionan como indicadores ecológicos de la biodiversidad y equilibrio de los ecosistemas en que habitan (Blair, 1999). Desde el punto de vista ecológico, la presencia de mariposas en un hábitat

¹Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, PO Box 21150, San Juan, PR 00928, 787-766-1717; patricia.sanz@fluor.com

²Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, PO Box 366147 San Juan, PR 00936, 787-999-2200

representa la continuidad de la reproducción de las plantas pues al alimentarse de las flores transportan el polen de unas plantas a otras contribuyendo a la formación de frutos y semillas, y con ello a la reproducción de la vegetación en general (Pérez, Genaro & Garrido, 2009). Por otro lado, las mariposas tienen un gran valor estético, educativo y económico muy utilizado en el ecoturismo, el cual sirve al desarrollo local de las comunidades cercanas a reservas naturales. Por ejemplo, la Reserva de la Biosfera en México recibe más de 150,000 visitantes al año para observar la hibernación de las colonias de la mariposa monarca (Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental, 2008).

Las mariposas eligen lugares específicos donde existe la combinación de factores ambientales para llevar a cabo su ciclo de vida. Entre estos factores se destacan la temperatura y la biodiversidad florística presente como parte del hábitat (Pérez et al., 2009). La presencia de mariposas en un ecosistema está relacionada con el tipo de vegetación del lugar donde habitan ya que hay una relación directa entre la planta alimentaria y la especie (Córdoba, Sesma, & Martín, 2006).

En Puerto Rico e islas adyacentes se han listado 102 especies de mariposas (Pérez-Asso, Genaro, & Garrido, 2009). Entre las especies de mayor tamaño en Puerto Rico está la especie *Heraclides androgeus epidarus* (41-68 mm) y entre las de menor tamaño (9-11 mm) figura la especie *Hemiargus hanno watsoni* (Figura 1) (especies que también son compartidas con el Caribe (Schwartz, 1989).



Figura 1. *Hemiargus hanno watsoni*, mariposa de menor tamaño en Puerto Rico.

La Reserva Natural Ciénaga Las Cucharillas es un lugar con potencial para el establecimiento de estrategias que mejoren las poblaciones de especies de mariposas características de la zona. El Plan de Manejo Preliminar de la Ciénaga Las Cucharillas desarrollado por Batista, Morales, Díaz, Ortiz y Padín identificó en el 2005 como prioridad el realizar estudios sobre la biodiversidad de mariposas y sus plantas hospederas para tratar de promover prácticas de manejo en la reserva para aumentar la diversidad de especies de mariposas. Como ecosistema, la Ciénaga alberga especies de mariposas típicas de los llanos costeros de Puerto Rico (Junta de Planificación, 2008). Sin embargo, las actividades de desarrollo han afectado y disminuido los humedales, lo cual pone en peligro las especies más susceptibles que dependen de ellos para poder culminar su ciclo de vida. Las actividades económicas alrededor de este ecosistema dependen en su mayoría de industrias como la refineras de hidrocarburos, empresas de manufactura, destilerías de ron y comercios, los cuales han contribuido al deterioro del ecosistema y contribuye a que las poblaciones de lepidópteros se hayan reducido durante la última década (Batista et al., 2005).

Desde el punto de vista de la conservación e integridad del ecosistema es necesario establecer estrategias, planes de manejo y de protección que ayuden a recuperar las especies de lepidópteros en la Reserva. La recuperación de la flora propia del lugar puede ser alcanzada con la ayuda de los lepidópteros por su función ecológica como polinizadores (Borrell & Krenn, 2006). Los lepidópteros requieren plantas hospederas y plantas alimentarias que le provean los recursos para completar su ciclo de vida (Schappert, 2005). Actualmente, la Reserva Natural Ciénaga Las Cucharillas representa un espacio de gran valor ecológico que brinda a la zona urbana grandes beneficios. Desde el punto de vista ecológico, provee un espacio único para la flora y fauna típica de los llanos costaneros de Puerto Rico, sirve de filtro atrapando los sedimentos y otros contaminantes que se encuentran en las escorrentías, y reduce el impacto de las inundaciones en las comunidades aledañas al ecosistema (Batista et al., 2005). Mediante este estudio, evaluamos la comunidad de mariposas del área mitigada en el antiguo cauce del río Bayamón en la Reserva Natural Ciénaga Las Cucharillas para determinar si esta zona posee el hábitat necesario para que las especies identificadas puedan llevar a cabo su ciclo de vida.

Método

El estudio de campo lo llevamos a cabo durante los meses de agosto a septiembre del 2012, aprovechando el periodo (junio a noviembre) cuando ocurre la mayor abundancia de mariposas (Pozo, Llorente, Martínez, Vargas, & Salas,

2005). Establecimos un transepto a lo largo de las 12 cuerdas en el área mitigada en el antiguo cauce del río Bayamón (Figura 2), con el propósito de evaluar el área, utilizando el método de Monks Wood (Pollard & Yates 1993). El transepto consistió de una longitud no definida, tipo sendero (García-Pérez, Ospina-López, Villa-Navarro & Reinoso-Flórez, 2007). Tomando en consideración que el área de estudio es un humedal, delimitamos el sendero por aquellas áreas accesibles no inundadas y la diversidad vegetativa.



Figura 2. Área recorrida tipo sendero representada por flechas. Con tres puntos marcados de observación (en color azul) y dos entradas a caminos rústicos. El área mitigada está marcada en rojo.

Contabilizamos los individuos e identificamos las especies de mariposas observadas en vuelo, así como las plantas alimentarias y hospederas que forman parte del ciclo de vida de las especies encontradas, según documentado. Utilizamos la fotografía para hacer el acercamiento visual sin perturbar a la mariposa, además de permitir la identificación taxonómica posterior mediante guías de campo (Pérez-Asso et al., 2009). El método de recorrido requiere de mucha atención del observador para evitar el registro de individuos ya contabilizados (Ramírez, 2006). Las plantas hospederas y alimentarias encontradas en área de estudio también las registramos fotográficamente para su identificación por medio de guías taxonómicas de plantas (Royer, 2001) o expertos del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales.

Para el análisis de los resultados, calculamos la diversidad de las especies mediante el índice de Menhinick y el porcentaje de abundancia relativa. La ecuación para calcular el índice de Menhinick es: $DMn = S / N$, en la que S es el número de especies; N es el número total de individuos (Cruz & Camargo, 2001). El porcentaje de abundancia relativa es el número de individuos contabilizados de una especie dividido entre el número total de los individuos contabilizados de todas las especies multiplicado por 100 (García, Ospina, Villa, & Reinoso, 2007).

Resultados y discusión

Durante los dos meses de estudio, identificamos un total de 11 especies pertenecientes a cuatro familias de lepidópteros que representan un 11% de las especies listadas para Puerto Rico (Perez-Asso et al., 2009). Estas familias fueron Pieridae, Nymphalidae, Lycaenidae y HesperIIDae (Tabla 1). La familia Pieridae fue la más abundante y variada en este estudio, ya que encontramos cuatro especies diferentes: *Pyrisitia lisa euterpe* (Figura 3), *Kricogonia lyside*, *Phoebis agarithen* antillana y *Ascia monuste eubotea*. La especie de la familia Pieridae se distinguen por su coloración amarilla o blanca, en ocasiones anaranjadas, a veces negro en sus bordes, y sus tamaños varían de pequeñas a medianas (Pérez et al., 2009).

En agosto, observamos un promedio de 316 individuos representativos de 9 especies diferentes. Mientras que en septiembre, observamos 508 individuos pertenecientes a 11 especies diferentes (Tabla 1). La diversidad de especies de mariposas varía según la temporada del año y región debido a la temperatura y la disponibilidad de las plantas necesarias para cada especie (Carter, 1992).

De las 11 especies de mariposas documentadas, la especie con mayor número de individuos observados, durante agosto y septiembre, fue *Pyrisitia lisa euterpe* con un promedio de 213.8 individuos. La abundancia relativa (ABR) de esta especie fue la más alta (48.66%), seguida por *Anartia jatrophae semifusca* (35.6%) (Figura 4). *Ascia monuste eubotea* (0.37) y *Wallengrenia otho dury* (0.37), resultaron ser las de menor porcentaje de abundancia relativa (37%). Mientras que la abundancia proporcional (π) de estas mismas especies de mariposas fue mayor durante septiembre (Tabla 2).

La distribución de las especies de mariposas en el área de estudio ocurrió mayormente en las áreas abiertas alrededor de las 12 cuerdas. El hábitat de esta zona se caracteriza por suelos húmedos y plantas típicas de caminos y maleza. En el área mitigada observamos un mayor número de individuos y de especies de mariposas en comparación con las orillas del camino. Las especies de mariposas prefieren buscar lugares con charcos de agua donde puedan obtener agua, nutrientes del suelo y sales (Shinn, 2011).

Las dos especies de mariposas con mayor abundancia, *Pyrisitia lisa euterpe* y *Anartia jatrophae semifusca*, utilizan tres plantas identificadas como plantas hospederas en el área de estudio (Tabla 3). Estas especies son *Mimosa pigra* y *Bacopa monnieri*. En cuanto a las plantas alimentarias, la mayoría de las mariposas se alimentan del néctar de las flores (Pérez et al., 2009). Observamos que la vegetación del área de estudio es prácticamente maleza entre las que abundan las gramíneas y las leguminosas.

Tabla 1

Número total de individuos por especie durante el periodo de estudio

Especie	Nombre común	Familia	Individuos agosto	Individuos septiembre	Prom.	% ABR
<i>Pyrisitia lisa euterpe</i>	Litter sulphur; litter yellow	Pieridae	153	274.5	213.8	48.66
<i>Kricogonia lyside</i>	Guayacán sulphur; lyside sulphur	Pieridae	14.5	19	16.8	4.5
<i>Phoebis agarithe antillia</i>	Large orange sulphur	Pieridae	1	4	2.5	0.75
<i>Ascia monuste eubotea</i>	Great southern White	Pieridae	1.5	1.5	1.5	0.38
<i>Anartia jatophae semifusca</i>	White peacock	Nymphalidae	134	153.5	143.8	35.6
<i>Junonia genoveva neildi</i>	Tropical buckeye	Nymphalidae	1.5	4	2.8	0.75
<i>Hemiargus hanno watsoni</i>	Hanno blue	Lycaenidae	5.5	15	10.3	2.1
<i>Electrostrymon angelia</i>	Fulvous hairstreak	Lycaenidae	3	4	3.5	1.1
<i>Choranthus vitellius</i>	V-mark skipper	Hesperiidae	2	8	5	1.5
<i>Cymaenes trinpunctus trinpunctus</i>	Three spot skipper	Hesperiidae	0	22	11	4.2
<i>Wallengrenia otho drury</i>	Broken dash skipper	Hesperiidae	0	3	1.5	0.38
Total de individuos			316	508.5	412.5	



Figura 3. *Pyrisitia lisa euterpe*, especie más abundante en el área de estudio.



Figura 4. *Anartia jatrophae semifusca*, especie con segundo valor ABR en el área de estudio.

Tabla 2

Número de individuos y abundancia proporcional de cada especie de mariposas registrada en el área de estudio.

Especie	agosto día completo		septiembre día completo	
	ni	pi	ni	pi
<i>Pyrisitia lisa Euterpe</i>	104	0.458	154	0.508
<i>Kricogonia lyside</i>	11	0.048	13	0.043
<i>Phoebis agarithe antillana</i>	1	0.004	3	0.010
<i>Ascia monuste eubotea</i>	1	0.004	1	0.003
<i>Anartia jatrophae semifusca</i>	104	0.458	85	0.281
<i>Hemiargus hanno watsoni</i>	1	0.004	3	0.010
<i>Junonia genoveva neildi</i>	2	0.009	11	0.036
<i>Electrostrymon angelia</i>	3	0.013	3	0.010
<i>Choranthus vitellius</i>	2	0.009	6	0.020
<i>Cymaenes trinpunctus trinpunctus</i>	0	0.000	22	0.073
<i>Wallengrenia otbo drury</i>	0	0.000	2	0.007
Número total de individuos (N)	229		303	
Número de especies (S) = 11				

Nota: ni= números de individuos de una especie i pi= abundancia proporcional de la especie i (pi = ni/N)

Entre las especies de gramíneas abundan la *Lippia canescens*, *Cuphia nodiflora* y *Cuphia strigulosa*. La planta *Lippia canescens* es una maleza agresiva y su flor es visitada por insectos como las abejas y las mariposas de la familia Nymphalidae, Hesperidae y Lycaenidae (Wilmer, 2011). Por su parte, las plantas *Cuphia nodiflora* y *Cuphia strigulosa* se adaptan a zonas de moderada a poca concentración de agua; se utiliza en bordes de caminos, soporta suelos ácidos, alcalinos y arenosos y atrae mariposas y abejas (Harrison, 2006). Entre las especies de plantas leguminosas encontradas en el área de estudio están presentes *Dalbergia escastaphylla*, *Machaerium lunatum*, *Mimosa pigra*, *Neptunia plena*, *Peltophorum pterocarpum*, *Pterocarpus officinalis* y *Vignarepens*.

Tabla 3

Plantas hospederas registradas en el área de estudio según la especie de mariposa

Especie de mariposa	Familia planta hospedera	Género planta hospedera según Pérez et al., 2009	Planta hospedera
<i>Pyrisitia lisa Euterpe</i>	Leguminosae	<i>Cassia, Chamaecrista, Desmodium, Desmanthus, Glycine, Mimosa, Trifolium, Senna, Zapoteca</i>	<i>Mimosa pigra</i>
	Bignoniaceae	<i>Tecoma</i>	
	Euphorbiaceae	<i>Phyllanthus</i>	
<i>Kricogonia lyside</i>	Zygophyllaceae	<i>Guaiacum</i>	
<i>Phoebis agarithe antillia</i>	Leguminosae	<i>Cassia, Chamaecrista, Desmodium, Desmanthus, Glycine, Mimosa, Trifolium, Senna, Zapoteca</i>	<i>Mimosa pigra</i>
<i>Ascia monuste eubotea</i>	Alliaceae	<i>Allium</i>	
	Bataceae	<i>Batis</i>	
	Capparaceae	<i>Cleome, Capparis</i>	
	Cruciferae	<i>Armoracia, Brassica, Lepidium, Raphanus</i>	
	Euphorbiaceae	<i>Croton</i>	
	Sapindaceae	<i>Allophylus</i>	
	Tropaeolaceae	<i>Tropaeolum</i>	
<i>Anartia jatophae semifusca</i>	Acanthaceae	<i>Blechum, Hygrophila, Ruellia</i>	
	Commelinaceae	<i>Tradescatia</i>	
	Euphorbiaceae	<i>Jatropha, Manihot</i>	
	Scrophulariaceae	<i>Bacopa</i>	<i>Bacopa monnieri</i>
	Verbenaceae	<i>Phyla, Lippia</i>	<i>Lippia nodiflora</i>

Especie de mariposa	Familia planta hospedera	Género planta hospedera según Pérez et al., 2009	Planta hospedera
<i>Junonia genoveva neildi</i>	Acanthaceae	<i>Barleria, Blechum, Ruellia</i>	
	Avicenniaceae	<i>Avicennia</i>	
	Malvaceae	<i>No identificada</i>	<i>Malachra alceifolia</i>
	Portulacaceae	<i>No identificada</i>	
	Verbenaceae	<i>Strachytarpheta, Lippia, Phyla</i>	<i>Lippia nodiflora</i>
<i>Hemiargus hanno watsoni</i>	Leguminosae	<i>Acacia, Abrus, Calliandra, Cassia, Chamaecrista, Crotalaria, Desmanthus, Macroptilium, Medicago, Mimosa, Phaseolus, Prosopis, Rynchosia, Vigna</i>	<i>Mimosa pigra</i>
<i>Electrostrymon angelia</i>	Anacardiaceae	<i>No identificada</i>	
<i>Choranthus vitellius</i>	Gramineae	<i>Saccharum, Panicum, Sorghum</i>	
	Palmaceae	<i>Areca, Phoenix, Sabal</i>	
	Rubiaceae	<i>Cinchona</i>	
<i>Cymaenes trin punctus trin punctus</i>	Gramineae	<i>Panicum, Saccharum, Bambusa</i>	
<i>Wallengrenia otho drury</i>	Gramineae	<i>Oryza, Saccharum</i>	
<i>Wallengrenia otho drury</i>	Gramineae	<i>Oryza, Saccharum</i>	

Entre las especies de plantas utilizadas en los proyectos de mitigación se encuentran el *Pterocarpus officinalis* y *Annona glabra* (Ambienta, 2007; Reforesta, 2008; 2012). Las especies de plantas utilizadas en los proyectos de mitigación no son utilizadas por las especies de mariposas identificadas en este estudio (Tabla 3).

Limitaciones

Este estudio es el primero que determina la composición de especies de mariposas y plantas hospederas y de alimentación en el área del antiguo cauce de río Bayamón en la ciénaga Las Cucharillas luego de que fuera mitigada durante los 2007, 2008 y 2009. Esta documentación fue basada en observaciones documentadas durante los meses de agosto y septiembre del 2012, por lo que se limita a un periodo que no es representativo de todas las estaciones y condiciones ambientales de un año. Sin embargo, consideramos los meses en los que las mariposas están más activas (Pozo et al., 2005). Tampoco incluyó las áreas de suelo inundado, solo el camino principal y los caminos rústicos del área de estudio. Las conclusiones a continuación no deben ser generalizadas al resto del año ni a otros lugares de la Ciénaga.

Conclusiones

El área estudiada en el antiguo cauce del río Bayamón posee las condiciones idóneas para un 11% de las especies de mariposas listadas para Puerto Rico e Islas adyacentes. La diversidad de mariposas son indicadores de que el área de estudio se encuentra en estado de recuperación (Córdova et al., 2006). Las especies de mariposas se distribuyen de forma homogénea con una mayor abundancia de individuos en las áreas abiertas y en el área mitigada donde se encuentra el humedal. Las 11 especies observadas contribuyen a la polinización de plantas presentes en la reserva natural y las áreas aledañas para mayor diversidad de plantas y especies de mariposas.

La mayoría de las especies de mariposas documentadas tienen en común la planta alimentaria *Cuphea nodiflora* y *Lippia canescens* que están presentes por toda el área de estudio, la cual guarda una vegetación homogénea. Aquellas especies de plantas necesarias para el ciclo de vida de especies documentadas y que no encontramos en el área, pudieran estar presentes en las áreas aledañas, por lo que es importante que estos terrenos sean estudiados y conservados para proteger la estabilidad de la diversidad de mariposas. Recomendamos el desarrollo de un Centro de Investigación que estudie los patrones de especies de mariposas durante todo el año. Es recomendable sembrar vegetación de la familia Asclepiadaceae para atraer mariposas del género *Danaus* no avistadas durante el estudio, pero la cual fue reportada en otras áreas de la Ciénaga. Este estudio establece información y datos necesarios para estudios posteriores en la ciénaga Las Cucharillas.

Agradecimientos

A los botánicos Vicente Quevedo y José Sustache del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales por la identificación de especies de plantas.

Literatura citada

- Ambienta Inc. (2007). 1st annual wetland mitigation monitoring report. Unpublished manuscript. Submitted to US. Army Corps of Engineers Antilles Regulatory Section.
- Batista, C., Morales, C., Díaz, A., Ortiz, G., & Padín, C. (2005). Plan de manejo para la ciénaga Las Cucharillas. Tesis no publicada de la Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana.

- Blair, R. B. (1999). Birds and butterflies along an urban gradient: surrogate taxa for assessing biodiversity? *Ecological Applications* 9,164–170. Recuperado de [http://dx.doi.org/10.1890/1051-0761\(1999\)009\[0164:BABAAU\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1890/1051-0761(1999)009[0164:BABAAU]2.0.CO;2)
- Borrell, B.J. & Krenn, H.W. (2006). Nectar feeding in long-proboscid insects. In A. Herrel, T. Speck, & N. P. Rowe (eds). *Ecology and biomechanics: A mechanical approach to the ecology of animals and plants* (p. 185). CRC Press: Taylor & Francis Group.
- Carter, D. (1992). Butterflies. *Butterflies and moths*. New York, NY: Dorling Kindersley.
- Córdoba León, J. R., Sesma Moranas, J. M. & Martín Toral, G. (2006). *Nuestras mariposas. Mariposas en libertad*. Madrid, España: Mundi Prensa Libros.
- Cruz-Reyes, A., & Camargo-Camargo, B. (2001). Glosario de términos en parasitología y ciencia afines. p. 128. México, D. F., C. P.: Plaza y Valdés, S. A. de C. V.
- García-Pérez, J.F., Ospina-López, L.A., Villa-Navarro, F.A., & Reinoso-Flórez, G. (2007). Diversidad y distribución de mariposas Satyrinae (Lepidoptera: Nymphalidae) en la cuenca del río Coello, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 55(2), 646.
- Harrison, M. (2006). An array of groundcovers. *Groundcovers for the South*. (p.30). Sarasota, Florida: Pineapple Press, Inc.
- Junta de Planificación. (2008). Declaración de impacto ambiental estratégica área de planificación especial y reserva natural ciénaga Las Cucharillas [PDF]. Recuperado de <http://www.gobierno.pr/NR/rdonlyres/45F518C0-6E59-4CDC-8D35-719CBF6CAE1A/0/MicrosoftWordParteIVDIAELasCucharillasFinalJCA.pdf>
- Pérez-Asso, A. R., Genaro, J. A., & Garrido, O. H. (2009). *Las mariposas de Puerto Rico*. Carolina, PR: J & J Press.
- Pollard, E., & Yates, T.J. (1993). *Monitoring butterflies for ecology and conservation*. London, UK: Chapman & Hall.

- Pozo, C., Llorente Bousquets, J., Martínez, A. L., Vargas Fernández, I., & Salas Suárez, N. (2005). Reflexiones acerca de los métodos de muestreo para mariposas en la comparación biogeográficas. En J. Llorente y J. Morrone (Eds.). *Regionalización biogeográfica en Iberoamerica y Tópicos Afines* (p. 203-217). Universidad Autónoma de México.
- Ramírez González, A. (2006). Abundancias: Observaciones o capturas. *Ecología: Métodos de muestreo y análisis de población y comunidades*. (p. 52). Bogotá, Colombia: Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
- Reforesta. (2008). 1st annual wetland mitigation monitoring report. Submitted to US. Army Corps of Engineers Antilles Regulatory Section.
- Reforesta. (2012). Compensatory mitigation post construction. Assessment for Maderas 3C Warehouse Expansion. Unpublished report submitted to Maderas 3C Warehouse.
- Royer, R.A. (2001). An assessment of the butterfly fauna at Denbigh Experimental Forest McHenry Count, North Dakota, Minot State University, North Dakota, US.
- Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental (2008). Plan de América del Norte para la conservación de la mariposa monarca. Recuperado de http://www.ccc.org/Storage/62/5433_Monarca_es.pdf
- Schappert, P. J. (2005). A butterfly's world. *A world for butterflies: Their lives, behavior and future*. Canada: Firefly Books.
- Schwartz, A. (1989). The butterflies of Hispaniola. Gainesville: University of Florida Press.
- Shinn, M. (2011). Butterfly, butterfly, where do you go. *Horticulture*, 108(6), 29.
- Wilmer, P. (2011). Pollination by butterflies and moths. *Pollination and floral ecology*. (p. 329). Princeton, NJ: Princeton University Press.

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE EL PERFIL BACTERIANO DE
SEDIMENTO DE MANGLE EN LA CIÉNAGA LAS CUCHARILLAS
Y BAHÍA DE JOBOS POR MEDIO DE LA TÉCNICA “TERMINAL
RESTRICTION FRAGMENT LENGTH POLYMORPHISM”
(T-RFLP)**

*Ibis Melissa Román Guzmán, MSEM¹; Christian Vélez Gerena, MSEM¹,
Beatriz Zayas, Ph.D.¹ & Karlo Malavé Llamas, MS²*

Abstract – Wetlands are productive ecosystems where essential life elements accumulate. Soil, sediment and water of the mangroves have an extensive microflora, which help in the degradation of organic and inorganic material including pollutants. This research aims to compare the profile of the bacterial community in ciénaga Las Cucharillas with the profile of the Jobos Bay Estuary during two different time periods of the year; determine the diversity and abundance using Terminal Restriction Fragment Length Polymorphism (T-RFLP); and finally, determine the potential of bioremediation of bacteria found in each of the samples. Sediment samples were collected close to black (*Avicennia germinans*) and white (*Laguncularia racemosa*) mangrove trees during June and August. DNA extractions were collected from the environmental samples previously collected, and process using T-RFLP. We determine the presence of several cultivable and non-cultivable bacteria with a greater diversity and abundance of microbes observed on the month of June. Samples revealed the presence of bacteria with the potential for bioremediation of chlorinated and volatile pollutants. Among them, we find *Rhodococcus sp.*, *Pseudomonas sp.*, y *Bacillus sp.* Through this study we found a great diversity of bacteria in the study areas. Future research can benefit from the findings of this work as tools of remediation and mitigation of environmental problems in similar environments.

Palabras clave: humedales, técnica T-RFLP, extracción de DNA, bacterias, metagenómica, Cataño, Puerto Rico

¹Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, PO Box 21150, San Juan, PR 00928, 787-766-1717

²Escuela de Ciencias y Tecnología, Universidad del Este, PO Box 2010 Carolina, P.R. 00984, 787-257-7373

Introducción

El suelo, los sedimentos y el agua cuentan con una extensa micro flora la cual, ayuda en la degradación de contaminantes tóxicos, y material orgánico e inorgánico. El suelo está compuesto de materia orgánica, inorgánica, minerales, componentes bióticos y abióticos (Reible & Lanczos, 2005). La interacción y proporción de estas características afectan de igual forma este particular ecosistema. El suelo saturado de agua o sedimento, no obtiene oxígeno de la atmósfera y se vuelve anaeróbico o anóxico, como en el caso de los pantanos y mangles y crea un nicho particular para organismos facultativos o anaerobios. El sedimento es parte esencial, integral y dinámico de los sistemas hidrológicos y principalmente lo encontramos en zonas con alta precipitación. El sedimento es un sólido suspendido o depositado que actúa como el componente principal de una matriz, la cual es susceptible a la transportación por el agua (Reible & Lanczos, 2005). También son reservas de contaminantes químicos y biológicos que puedan provenir de un efluente de origen urbano, de la agricultura, industria o de sedimentos contaminados de ríos, riachuelos, lagos, bahías y estuarios. Estos contaminantes pueden ser degradados por las bacterias. El sedimento en los mangles es esencial para entender la importancia del ecosistema.

Las bacterias son un grupo de microorganismos muy importantes en el ecosistema por su rol como descomponedor protagónicos en los ciclos biogeoquímicos de carbono, azufre, nitrógeno, hierro, manganeso, europio, telurio, selenio, rodio y fósforo (Presscott, Harley, & Klein, 2002). La descomposición y la mineralización de contaminantes, desechos y sedimentos por medio de microorganismos juega un papel importante en los manglares (Liang et al., 2007). Debido a que aproximadamente el 99% de los microorganismos presentes en el ambiente no pueden ser cultivados, se dificulta la accesibilidad y manipulación biotecnológicamente de ese potencial genético con el que cuentan (Amann, Ludwig, & Schleifer, 1995; Riesenfeld, Schloss, & Handelsman, 2004). Es por esta razón, que se han tenido que desarrollar métodos y equipos para trabajar con el potencial molecular de estos organismos sin tener que cultivarlos y se han creado bibliotecas de información donde se identifican especies de bacterias y organismos, productos, metabolismo y genes.

El utilizar estas tecnologías, como por ejemplo la de microensayos, nos permite tener acceso a la diversidad bacteriana en diversos hábitats (Nelson, Methe, & Kowalchuk, 2007). La genómica y la metagenómica (parte de los *omics*) son los campos más prominentes de microbiología ambiental (Logue, Burgmann, & Robinson, 2008). Por medio de la metagenómica, los genomas de una comunidad microbiológica son extraídos de una muestra ambiental y son clonados; para luego ser

subclonados, secuenciados e investigados para evaluar sus propiedades y potenciales filogenéticos (Jurkowski & Reid, 2007). Estas técnicas nos ayudan a entender las bacterias y su dinámica en respuesta ante un ambiente tan cambiante.

En esta investigación realizamos un perfil bacteriano (determinación de las bacterias presentes en la muestra de suelo) por medio de la técnica de *Terminal Restriction Fragment Length Polymorphism* (T-RFLP) en sedimentos de mangle negro y blanco de la ciénaga Las Cucharillas en Cataño y lo comparamos con el perfil bacteriano del estuario Bahía de Jobos en Guayama. La técnica de T-RFLP sirve para estudiar comunidades de microorganismos recolectadas de una muestra de suelo creando un perfil de las bacterias presentes. Además, determinamos la diversidad y la abundancia de las bacterias en el área de estudio y determinamos el potencial de biorremediación de éstas para contaminantes clorinados y volátiles.

Método

Recolectamos un total de 16 muestras de sedimentos en cuatro estaciones de muestreo, localizadas en la ciénaga Las Cucharillas en Cataño y en el estuario de la bahía de Jobos en Guayama durante junio y agosto (Figura 1). El sedimento fue extraído de áreas cercanas a especies de mangle *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*. En cada muestra colectamos 15 cm de sedimento, de los que eliminamos los primeros cinco centímetros. De este modo, eliminamos la materia orgánica macroscópica de la muestra. Una vez las muestras estaban en el laboratorio, tomamos los datos de porcentaje de humedad y pH del suelo. Estos factores abióticos influyen en el crecimiento de las bacterias. Para la elaboración y análisis de las muestras, llevamos a cabo el protocolo para T-RFLP. Utilizamos el método PCR para extraer el DNA, según Gruntzig, Stres, Ayala del Río y Tiedje (2002). Amplificamos los genes bacterianos usando marcadores de DNA fluorescentes y con cebadores. Separamos los fragmentos de DNA con electroforesis capilar (Figura 2). Luego, el secuenciador automático se encarga de leer y detectar los fragmentos y genera el perfil bacteriano (Applied Biosystem, 2005).



Figura 1. Área de estudio. Dos estaciones de muestreo en ciénaga Las Cucharillas en Cataño (izquierda) y dos estaciones de muestreo en bahía de Jobos, Guayama (derecha).

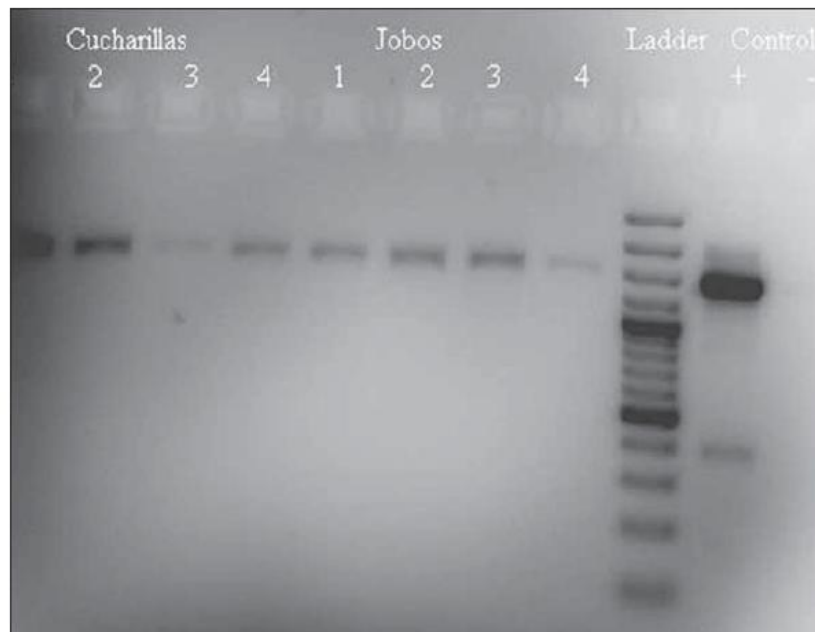


Figura 2. Resultados de la electroforesis en gel de las muestras tomadas en las dos áreas de estudio.

Extracción de DNA

Seguimos el protocolo de PowerSoil DNA Isolation Kit de MO BIO para la extracción de DNA. Colocamos 0.25 g de muestra de sedimento en el tubo Power Bead y se homogenizó utilizando un *vortex*. Añadimos 60µl de la solución C1 y se homogenizó rápidamente durante 10 minutos. Centrifugamos a 10,000 x g durante 30 segundos y transferimos el sobrenadante a un tubo de colección de 2 ml. Añadimos 250µl de la solución C2 y se homogenizó por 5 segundos. Luego incubamos la muestra a 4° C por 5 minutos. Centrifugamos a 10,000 x g durante 1 minuto, y removimos 600µl de sobrenadante a un tubo de colección de 2 ml.

Añadimos 200µl de la solución C3 y se homogenizó brevemente para luego incubar a 4° C por 5 minutos. Luego, centrifugamos a 10,000 x g durante 1 minuto y se removieron 750µl de sobrenadante a un tubo de colección de 2 ml. Se añadieron y homogenizaron 1,200µl de la solución C4 al sobrenadante durante 5 segundos. Tomamos 675µl de la solución y la pasamos a un tubo con *Spin Filter* para centrifugar durante 1 minuto. Removimos el sobrenadante. Este procedimiento se repitió tres (3) veces. Luego, se añadieron y homogenizaron (por 30 segundos) 500µl de la solución C5. Luego se colocó el *Spin Filter* en un tubo de colección limpio y se añadieron 100µl de la solución C6 en el centro del filtro. Finalmente, se centrifugó durante 30 segundos y se descartó el filtro. El líquido restante es el DNA, el cual, fue almacenado congelado de -20° C a -80° C para preservarlo (MO BIO Laboratories Inc., 2007).

PCR - *Polimerase Chain Reaction*

Llevamos a cabo diluciones en agua estéril de 1/10, 1/100, 1/1,000, 1/10,000, 1/5,000 y 1/15,000 para realizar PCR. De esa dilución, preparamos una reserva de 100µM. De la reserva, se obtuvo 10µM clasificada como la solución de trabajo. Los cebadores o iniciadores específicos utilizados fueron el 27F y el 1525R. Para amplificar el DNA, utilizamos la Guía de Protocolos Moleculares de la Dra. Sharon Cantrell y Claribel Báez de la Escuela de Ciencias y Tecnología de la Universidad del Turabo. Para amplificar la muestra ambiental utilizamos 12.5µl de la solución Red Taq Ready Mix, 1.25µl del cebador 27F, 1.25µl del cebador 1525R, 9µl de agua y 1µl de DNA (de la dilución que se desea amplificar). Las muestras fueron colocadas en el termociclador a 35 ciclos.

Digestión del DNA amplificado mediante enzimas de restricción y Precipitación de DNA

La digestión del DNA amplificado fue realizada con 2µl de solución amortiguadora Buffer G, 0.2µl de la enzima Mn1I, agua destilada, y el amplicón. Incubamos las muestras a 37° C durante 120 minutos. Luego, las muestras fueron precipitadas y re suspendidas en 14.8 Hi-Di Foramamida y 0.2 GenScan Liz Standard. Posteriormente, precipitamos el DNA, el cual es un paso selectivo y efectivo en la preparación del DNA donde se utilizan precipitantes como sales, alcoholes, glicol, cationes, cetyltrimethylamonia y otros para este propósito (Tomanee & Hsu, 2006).

Visualización de los fragmentos digeridos mediante el uso de un secuenciador automático

El secuenciador automático es el instrumento utilizado para realizar el T-RFLP (*Terminal Restriction Fragment Length Polymorphysm*). Luego que termina de interpretar los datos mediante un láser se traduce la información a una serie de picos en una gráfica donde cada pico representa un filotipo, grupo, género o una especie de bacterias que se encuentran en la muestra.

Resultados y Discusión

Perfil de la comunidad bacteriana durante estación seca y lluviosa

Las bacterias encontradas en las diferentes áreas de muestreo resultaron ser similares al comparar ciénaga Las Cucharillas con bahía de Jobos. Lo que varió fue la presencia de ellas en los muestreos y la cantidad presente en cada muestreo. El estudio filogenético identificó una serie de bacterias no cultivables, bacterias sin identificar aún, bacterias candidatas a una división y bacterias cultivables. Los cebadores seleccionados (27F y 1525R) específicos para bacterias, permiten que se reconozcan bacterias que no se pueden cultivar en el laboratorio debido a que no se han desarrollado las condiciones adecuadas para su cultivo. Entonces el estudio reveló la presencia de organismos: *uncultured rumen bacterium*, *uncultured endolithic bacterium* y *uncultured soil bacterium*. Del filum *Chloroflexi* las potenciales bacterias no cultivables son las siguientes: *uncultured sludge bacterium* y *uncultured Chloroflexi bacterium*. También, bacterias no cultivables del filum Actinobacteria como: *uncultured actinobacterium* y *uncultured Rhodococcus sp.* Bacterias del filum Firmicutes que no pueden ser cultivadas son: *uncultured synthetic wastewater bacterium*, *uncultured eubacterium*, *uncultured Bacillus sp.* y *uncultured Clostridium sp.* Potenciales bacterias no cultivables del filum Proteobacteria son las siguientes: *uncultured proteobacterium*, *uncultured Comamonadaceae bacterium*, *uncultured Gallionella sp.*, *uncultured Rhodobacteraceae bacterium*, *uncultured Campylobacteriales bacterium*, *uncultured Cycloclasticus sp.*, *uncultured Burkholderiales bacterium*, *uncultured Hydrogenophaga sp.*, *uncultured Aquabacterium sp.*, *uncultured Idiomarina sp.*, *uncultured Comamonas sp.*, *uncultured Enterobacteriaceae bacterium*, *uncultured Thiobacillus sp.*, *uncultured Arcobacter sp.*, *uncultured Rhodospirillum rubrum sp.*, *uncultured Pseudomonas sp.* y *uncultured Piscirickettsiaceae bacterium*. Bacterias no cultivables del filum Planctomycete son: *uncultured planctomycete* y *uncultured Pirellula*. Del filum *Acidobacteria*, las posibles bacterias son: *uncultured Acidobacteria bacterium* y

uncultured Acidobacterium sp. Las bacterias no cultivables potencialmente presente en el muestreo del filum *Gemmatimonadetes* es *uncultured Gemmatimonadetes bacterium*, del filum Elusimicrobia es *uncultured Termite group 1 bacterium phylotype Rs-D17* y del filum Cyanobacteria es *uncultured cyanobacterium*.

En las muestras identificamos la presencia de bacterias sin identificar como: *unidentified eubacterium* y *unidentified Clostridiaceae*. Además, para los pares de bases identificamos bacterias candidatas a una división. Entre ellas cabe mencionar: *Candidatus Burkholderia kirkii*, *Candidatus Burkholderia calva*, *Candidatus Burkholderia nigropunctata*, *Candidatus Burkholderia verschuerenii*, *Candidatus Phytoplasma mali*, *Candidatus Phytoplasma prunorum*, *Candidatus Procabacter sp.*, *Candidatus Desulforudis audaxviator*, *Candidatus Ruthia magnifica str. Calyptogena magnifica*, *Candidatus Vesicomysocius okutanii* y *Candidatus Tremblaya princeps*.

Los cebadores 27F y 1525R permitieron que sólo bacterias fueran identificadas en los picos generados por el secuenciador automático. El estudio filogenético reveló que el muestreo con mayor cantidad de bacterias fue Jobos 2 en el muestreo 1 con 50 pares de bases. En orden, le sigue Cucharillas 1 en el muestreo 1 con 43 pares de bases (Figura 3 y 4). En el muestreo 1, Cucharillas obtuvo mayor diversidad de bacterias en comparación con Cucharillas en el muestreo 2; también Jobos en el muestreo 1 obtuvo mayor diversidad de bacterias que en el muestreo 2. Pero entre Cucharillas y Jobos, el más diverso fue Cucharillas con un total de 134 pares de bases en las que se pueden identificar especies de bacterias. Identificamos aquellas bacterias con potencial de biorremediación de contaminantes clorinados y volátiles. La mayor cantidad de TRFLP se obtuvo en los pares de bases 164, 163, 135, 132, 130, 125, 124, 123, 112, 96, 95, 94, 92, 88, 84, 81, 69, 56, 55, 53, 51 y 6.

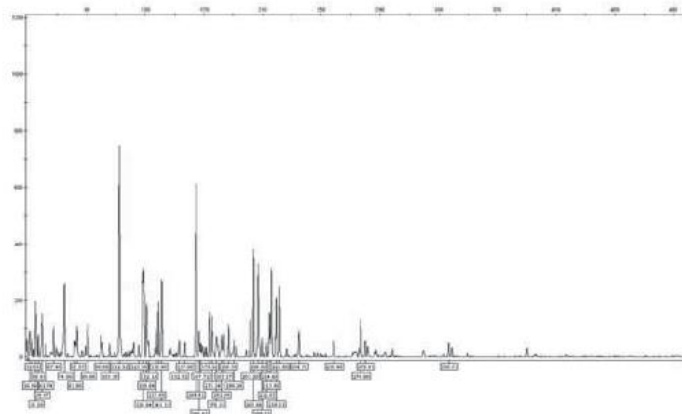


Figura 3. Picos del T-RFLP del Muestreo 1 Cucharillas 1.

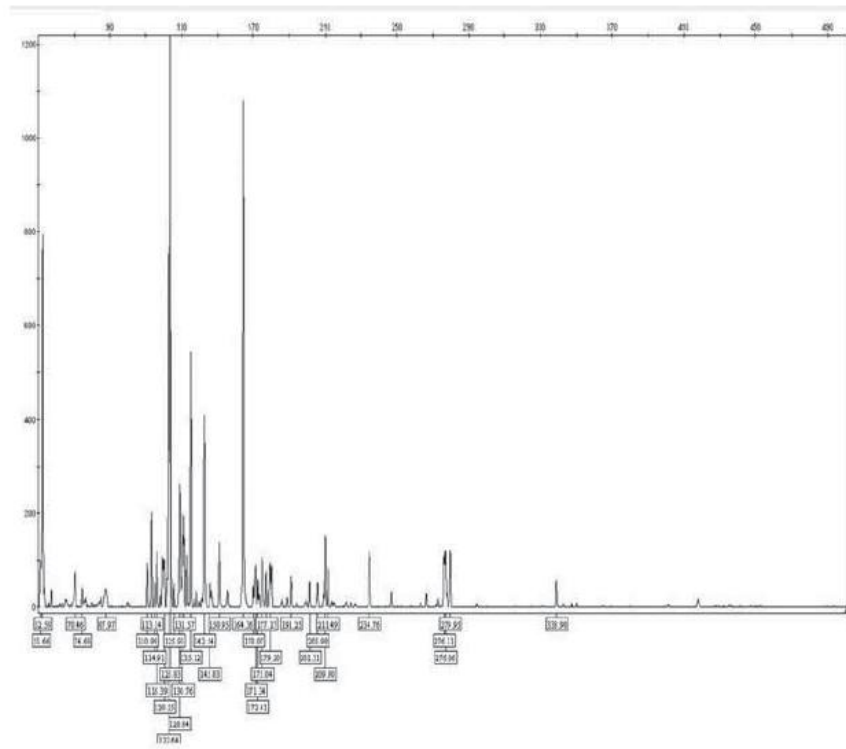


Figura 4. Picos del T-RFLP del Muestreo 1 Jobos 3.

Diversidad y abundancia de las comunidades bacterianas

En la diversidad de las bacterias no hubo una diferencia significativa entre los muestreos. Esto significa que el proceso de biorremediación no es afectado por la cantidad de agua presente en los muestreos o por la estación del año. Esto quiere decir que la biorremediación se puede realizar durante todo el año y siempre van a haber bacterias biorremediadoras en los puntos de muestreo. Hay que destacar que durante la época seca hay mayor diversidad de bacterias en comparación con la época lluviosa. Además, pudimos constatar que la diversidad de bacterias en Cucharillas y Jobos es semejante durante la época seca (Figura 5).

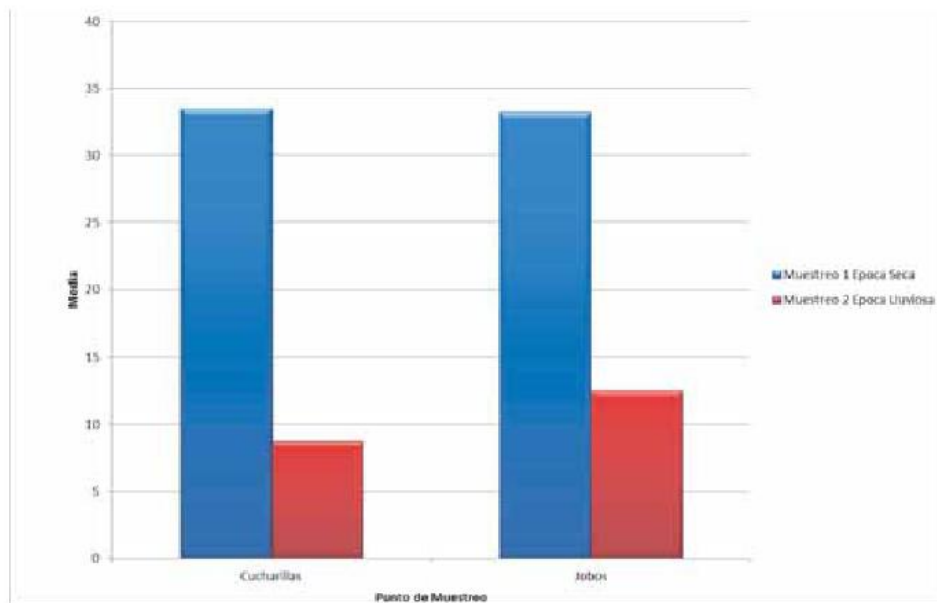


Figura 5. Diversidad entre los muestreos 1 y 2 en la ciénaga Las Cucharillas vs. Bahía de Jobos

Abundancia

En este estudio definimos *abundancia* como el total de los “individuos” presentes en una comunidad bacteriana. En la Figura 6 esta abundancia está representada por los tamaños de los picos (su altura), los cuales representan cuánto de cada filotipo está presente en la muestra o cuanta fluorescencia fue absorbida. El uso de la altura de los picos representan los fragmentos que se expanden durante la electroforesis (Grant & Ogilvie, 2003). La Figura 4 presenta que en el muestreo 1 Jobos fue el más abundante de todos los muestreos realizados; luego le sigue Cucharillas del muestreo 1; estos dos muestreos obtuvieron mayor cantidad de filotipos (Figura 2). El segundo muestreo fue menos abundante en comparación con el primer muestreo debido a la cantidad de agua presente en las muestras. Por otro lado, la significancia del análisis de pares del muestreo 1 Cucharillas comparado con el muestreo 2 Cucharillas fue de $p = 0.053$. Durante el muestreo 1 en Jobos vs. el muestreo 2 en Jobos, la significancia resultante fue de $p \leq 0.05$. Este análisis es indicativo de que no hubo diferencia significativa entre muestreos; por ende, la biorremediación no se ve afectada por la estación del año ni por la cantidad de agua presente en el sedimento de mangle. Por lo tanto, las bacterias están presentes para biorremediar durante todo el año.

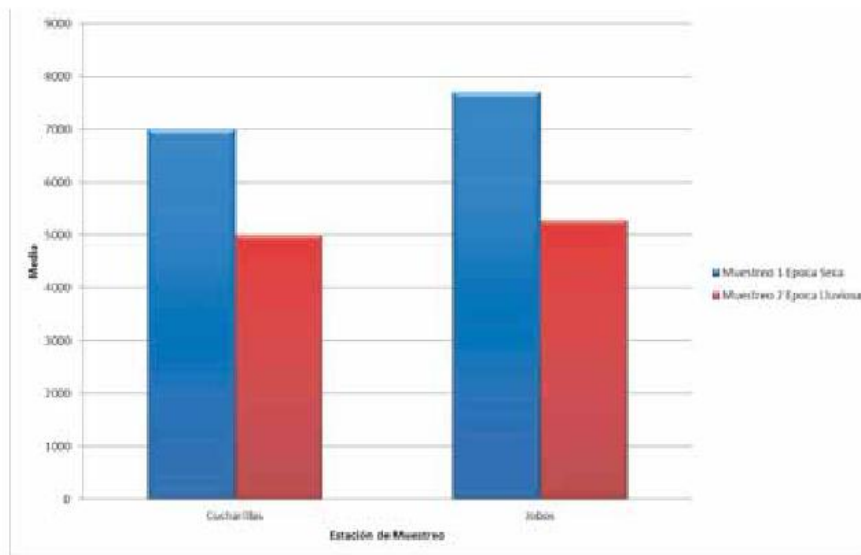


Figura 6. Abundancia entre los muestreos 1 y 2 en la ciénaga Las Cucharillas vs. bahía de Jobos

Potencial de biorremediación para contaminantes clorinados o volátiles

Los contaminantes ambientales son compuestos tóxicos para los organismos vivos, los cuales son liberados a ecosistemas, usualmente, a consecuencia de actividades antropogénicas (Díaz, 2004). Los mangles son expuestos a contaminantes ambientales como derrames de petróleo, pesticidas, herbicidas, compuestos tóxicos, contaminantes industriales, lixiviados de los vertederos legales y clandestinos y aguas termales provenientes de termoeléctricas, entre otras muchas causas. Por esta razón, se han generado tecnologías como la biorremediación para la limpieza de los suelos impactados. La biorremediación es un proceso biológico en donde microorganismos como las bacterias degradan contaminantes hasta compuestos no tóxicos presentes en suelo, agua o aire (Olguín, Hernández, & Sánchez, 2007). Tomando en cuenta de que sólo un pequeño porcentaje del total de las bacterias observadas en la muestra ambiental a través de los datos obtenidos por el T-RFLP pueden ser cultivadas, decidimos investigar aquellas bacterias que son capaces de biorremediar contaminantes clorinados o volátiles del sedimento de la ciénaga Las Cucharillas y del estuario bahía de Jobos. La bacteria *Dehalococcoides sp.* es capaz de degradar contaminantes como el tetracloroetileno en presencia de la bacteria *Pseudomonas putativa*. Este contaminante fue encontrado recientemente en pozos

de agua potable de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. Bacterias como *Azoarcus sp.* pueden degradar contaminantes como benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (López et al., 2006).

Los microorganismos pueden biorremediar de manera natural (biodegradar), por ejemplo, *Thiobacillus thiooxidans* que tiene la capacidad de recuperar cobre en un 70 % (Prescott, 2002). *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculu* (presentes en nuestro muestreo), reducen sulfatos de sedimentos de mangle (Kathiresan & Bingham, 2001). Las cianobacterias son capaces de fijar nitrógeno en los neumatóforos de los árboles de mangle (Kathiresan & Bingham, 2001). Otras bacterias de nuestro muestreo capaces de fijar nitrógeno son: las cianobacterias, *Clostridium*, *Klebsiella*, *Rhizobium*, *Vibrio*, *Listonella* y *Bacillus*. Estas tienen efecto beneficioso pues proveen nutrientes al árbol, producen hormonas de crecimiento y actividad antimicrobial que inhiben microorganismos patógenos en el suelo (Kathiresan & Selvam, 2006).

Los géneros de bacterias comunes entre este estudio y el realizado por De Giorgis, Schwarz, Chamy, y Schiappacasse (2003) se encuentran: *Alcaligenes* presentes en picos de 217 y 219 pb (Tabla 3) y puede cometabolizar tetra, penta y hexaclorobifenilos. El género *Pseudomonas* es capaz de degradar contaminantes como el tolueno y naftaleno, así como contaminantes clorinados como los hexaclorobifenilos. Este género lo detectamos en el pico de: 88, 204, 205, 211, 213, 214 y de 215 pb. *Pseudomonas sp.*, la cual es una bacteria muy estudiada debido a su capacidad para degradar gran variedad de contaminantes (Díaz, 2004). Otras bacterias biorremediadoras que podemos encontrar en nuestro estudio son: *Rhodococcus*, *Burkholderia*, *Acinetobacter* y *Sphingomonas*. El género *Rhodococcus* es capaz de desulfurar el diésel, de degradar contaminantes utilizando como su fuente de carbono compuestos hidrofóbicos y puede degradar y modificar compuestos aromáticos. *Burkholderia* puede biorremediar herbicidas y pesticidas, lo cual es muy importante pues el estuario bahía de Jobos recibe constantemente estos contaminantes provenientes de los cultivos adyacentes. *Acinetobacter baumannii* puede utilizarse para degradar fracciones de alcanos y, por último, el género *Sphingomona* es capaz de degradar bajo condiciones anaerobias 2-7 diclorobenceno, produciendo el metabolito 4 clorocatenol y el 1,2,3,4 tetraclorodibenceno (López et al., 2006).

Limitaciones

Las muestras de suelo pueden sufrir degradación de DNA al refrigerarse el PCR. Esto resultó en la repetición de la recolección de muestra de suelo, la extracción de DNA, las corridas de PCR, gel y la secuenciación. Hubo contaminación de las

muestras, lo cual alteró grandemente los resultados iniciales; por tanto, tuvimos que repetir las diluciones, el PCR y la corrida del gel hasta que los controles no indicarán contaminación. Otra limitación fue que los terrenos estuvieron inundados en septiembre y las muestras fueron coleccionadas en áreas más accesibles a los puntos de Jobos 1 y Jobos 2.

Conclusiones

Los humedales son ecosistemas complejos que poseen diversas funciones ecológicas y un alto valor económico y ecológico. Ante la necesidad de proteger, restaurar y conservar nuestros recursos naturales y manejar riesgos ambientales, nos dimos a la tarea de investigar el perfil bacteriano de los sedimentos de los árboles de mangle en la ciénaga Las Cucharillas y en la Reserva Nacional Estuarina Bahía de Jobos. En este estudio analizamos una variedad de muestras de suelo, mediante la técnica *Terminal Restriction Fragment Length Polymorphism* (T-RFLP). El proceso de T-RFLP es una buena fuente para recobrar el material genético de organismos noveles obtenidos de estos ecosistemas. El análisis de TRFLP es utilizado para examinar estructuras y comunidades de microorganismos que responden diferentes cambios y parámetros ambientales; también puede utilizarse para estudiar las poblaciones de bacterias presentes en un hábitat (Applied Biosystem, 2005). La ventaja que tiene la técnica del TRFLP es que nos permite tener una visualización rápida de la comunidad bacteriana de la muestra con un solo ensayo. Un problema que podemos encontrar al correr un gel es la interpolación en el programa de un tamaño estándar. Este tamaño de pares de base podría ser impreciso, lo cual puede llevar a que se obtengan bacterias similares al analizar el gel. Por tal motivo, se procede a practicar el T-RFLP al comparar las comunidades bacterianas, pues se crean estándares entre las corridas donde se pueden comparar los fragmentos obtenidos de la muestra (Hewson & Fuhrman, 2006).

Mediante el T-RFLP, creamos una lista de las posibles bacterias que se encuentran en las áreas estudiadas. Determinamos que las bacterias encontradas pueden ser propicias para la biorremediación de contaminantes clorinados y volátiles. Entre las bacterias encontradas podemos destacar: *Rhodococcus*, *Burkholderia*, *Acinetobacter* y *Sphingomonas*, *Alcaligenes*, *Pseudomonas* y *Bacteroides*. Además, realizamos un perfil de bacterias presentes en los sedimentos de las estaciones estudiadas dentro de la ciénaga Las Cucharillas y del estuario bahía de Jobos que puede ser útil para futuras investigaciones. Esta investigación ayudó

a conocer las bacterias potenciales para combatir los daños causados a los sitios estudiados a causa de posibles accidentes ambientales. Determinamos que las bacterias encontradas en la ciénaga Las Cucharillas y las encontradas en bahía de Jobos son parecidas al comparar la época lluviosa con la seca. Determinamos que hay mayor cantidad de bacterias presentes en las muestras durante la época seca al compararlas con la época lluviosa y determinamos que los suelos en la ciénaga Las Cucharillas tienen microflora más diversa y abundante que en el estuario bahía de Jobos. La gran cantidad de lluvia desplaza las bacterias hacia otras zonas o las bacterias pueden morir debido a cambios drásticos en su hábitat. La técnica del TRFLP se ha convertido en un método para la comparación rápida de las relaciones entre comunidades bacterianas presentes en muestras ambientales y de cambios en temporadas.

Agradecimientos

A Ángel Dieppa, JBNERR-DNER-NOAA, a la Dra. Sharon A. Cantrell y al Dr. José R. Pérez Jiménez.

Literatura citada

- Amann, R., Ludwig, W., & Schleifer, K. (1995). Phylogenetic identification and in situ detection of individual microbial cells without cultivation. *Microbiological Reviews*, 59(1), 143-169.
- Applied Biosystem (2005). Terminal fragment length polymorphism (T-RFLP) analysis on applied biosystems capillary electrophoresis systems. Recuperado de http://www3.appliedbiosystems.com/cms/groups/mcb_marketing/documents/
- De Giorgis F., Schwarz I., Chamy, R., & Schiappacasse M. C. (2003, Octubre). Alternativas de tratamientos biológicos para la remediación de suelos contaminados con PCBs en Chile. *XV Congreso de ingeniería sanitaria y ambiental*. Simposio realizado en la reunión de Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Valparaíso, Chile.
- Díaz, E. (2004). Bacterial degradation of aromatic pollutants: a paradigm of metabolic versatility. *International Microbiology*, 7(3), 173-180.

- Grant, A., & Ogilvie L. (2003). Terminal restriction fragment length polymorphism data analysis. *Applied and environmental microbiology*, 69(10), 6342-6343. doi:10.1128/AEM.69.10.6342-6343.2003
- Gruntzig, V., Stres, B., Ayala del Río, H., & Tiedje, J. (2002). *Improved protocol for TRFLP by capillary electrophoresis*. Center for Microbial Ecology: Michigan State University.
- Hewson, I. & Fuhrman, J. (2006). Improved strategy for comparing microbial assemblage fingerprints. *Microbial Ecology*, 51, 147-153. doi:10.1007/s00248-005-0144-9.
- Jurkowski, A., & Reid, A. (2007). Understanding our microbial planet. *The New Science of Metagenomics: Revealing the secrets of our microbial planet*. Washington, DC: National Academies of Science Press.
- Kathiresan, K., & Bingham, B.L. (2001). Biology of mangrove and mangrove ecosystems. *Advances in Marine Biology*, 40, 81-251.
- Kathiresan, K., & Selvam, M. (2006). Evaluation of beneficial bacteria from mangrove soil. *Botanica Marina*, 49, 86-88. doi 10.1515/BOT.2006.011.
- Liang, J. B., Chen, Y. Q., Lan, C. Y., Tam, N. F. Y., Zan, Q. J., & Huang, L. N. (2007). Recovery of novel bacterial diversity from mangrove sediment. *Marine Biology*, 150, 739-747 doi 10.1007/s00227-006-0377-2.
- Logue, J., Burgmann, H., & Robinson, C. (2008). Progress in the ecological genetics and biodiversity of freshwater bacteria. *Bio Science*, 58(2), 103-113. doi: 10.1641/B580205.
- López de Mesa, J. B., Quintero, G., Guevara Vizcaíno, A. L., Jaimes Cáceres D. C., Gutiérrez Riaño, S. M., & Miranda García, J. (2006). Bioremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. *NOVA Publicacion Científica*. 4(5), 1-116.
- Nelson, K., Methe, B. A., & Kowalchuk, G. A. (2007). Environmental microbial ecology in an "omics" era. *Microbial Ecology*, 53, 369-370. doi 10.1007/s00248-007-9215

- Olguín, E. J., Hernández, M. E., & Sánchez-Galván, G. (2007). Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 23(3), 139-154.
- Presscott, L. M., Harley, J. P., & Klein, D. (2002). *Microbiology*. 5ta edición. New York: McGraw Hill.
- Reible, D., & Lanczos, T. (2005). *Assessment and remediation of contaminated sediments*. Bratislava, Slovak Republic: Springer.
- Riesenfeld, C., Schloss, P., & Handelsman, J. (2004). Metagenomics: Genomic analysis of microbial communities. *Annual Review of Genetics*, 38, 525-52. doi: 10.1146/annurev.genet.38.072902.091216
- Tomanec, P., & Hsu, J. (2006). Selective precipitation of RNA, supercoiled plasmid DNA, and open-circular plasmid DNA with different cationic surfactants. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 29(11), 1531-1540. doi:10.1080/10826070600675361.

EFICIENCIA EN EL USO DE NUTRIENTES EN ESPECIES ARBÓREAS UTILIZADAS EN ÁREAS DE MITIGACIÓN EN LA CIÉNAGA LAS CUCHARILLAS

Wilmer O. Rivera-De Jesús, MSEM¹,
Álida Ortiz Sotomayor, Ph.D.¹, O.J. Abelleira-Martínez, MS²,
& Juan C. Musa, Ph.D.¹

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). On the other hand, retranslocation (%RT), is a way to estimate NUE depending on the amount of nutrients that are removed from senescent tissues. This study sought to compare the NUE of N, P and K using the % RT in *Pterocarpus officinalis* and *Annona glabra* in the mitigation zone in Las Cucharillas Marsh. The aim is to understand the physiological performance of these species as a function of flooding factor. This physiological aspect was used to provide effective management recommendations for wetland mitigation projects. We measured the rate of %RT of N, P and K by specific leaf area in mature and senescent leaves, the total content of N, P and K in mature and senescent leaves and total content of these nutrients in the soil. *Pterocarpus* presented %RT rates significantly higher in areas less prone to flooding. Furthermore, typically more limited for nutrients such as P and K, 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.

Palabras clave: Eficiencia en el uso de nutrientes (EUN), Retranslocación (%RT), Senescencia, Área foliar específica (AFE)

Introducción

La eficiencia en el uso de nutrientes (EUN) es un parámetro fisiológico que evalúa la forma en cómo los nutrientes son utilizados por una planta para la producción de su biomasa (Lugo, 1998; Vitousek, 1982). Una planta es considerada eficiente en el uso de nutrientes cuando la misma incrementa la cantidad de biomasa producida

¹ Universidad Metropolitana, Escuela de Asuntos Ambientales, PO Box 21150, San Juan, PR 00928-1150; wilmer.rivera2@upr.edu

² International Institute of Tropical Forestry, United States, Department of Agriculture, Forest Service, Jardín Botánico Sur, 1201 Calle Ceiba, Río Piedras, PR 00926-1115

por unidad de nutriente reutilizado (Escudero & Mediavilla, 2003). Este parámetro fisiológico ha sido extensamente estudiado ya que su aplicación ha servido para la restauración de sistemas degradados producto de diversas actividades humanas y en la determinación de condiciones ecológicas en sistemas agroforestales (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). 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 (Aerts, 1996; Allison & Vitousek, 2004; Killingbeck, 1996; Kobe, Iyer & Lepczyk, 2005; Wright & Westoby, 2003). El porcentaje de RT indica la cantidad de nutrientes que son removidos de los tejidos senescentes de la planta antes de que la hoja se desprenda (senescencia), expresado comúnmente como la cantidad de nutrientes en el tejido foliar por unidad de área foliar específica (Lugo, 1998).

Estudios previos, en los que se ha evaluado la EUN en diversas especies arbóreas, han encontrado que en suelos con una pobre disponibilidad de nutrientes, las plantas que son más eficientes reflejan un alto índice de EUN y un mayor porcentaje de RT. Esto indica que la planta reabsorbe mayor contenido de nutriente de los tejidos senescentes como respuesta ecofisiológica, provocando que la misma sea menos dependiente de los recursos presentes en el suelo. (Cuevas & Lugo, 1998; Bridham, Pastor, McClougherty & Richardson, 1995 Knops, Koeing & Nash III, 1997; Montagnini, Jordan & Machado, 2000; Silver, 1994). 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 como es el caso de los humedales. En este sentido, el factor de inundación que presentan estos sistemas es de gran importancia ya que el mismo puede influir en la disponibilidad de nutrientes (Kozlowski, 1984), y por consiguiente la respuesta fisiológica de las especies que se implantan, las cuales les permiten crecer, desarrollarse y reproducirse para asegurar el éxito de la restauración es estos ecosistemas. El tomar en cuenta este factor abiótico contribuye a ofrecer recomendaciones de manejo efectivas considerando aquellas especies que presentan una mayor tolerancia a estas condiciones para el restablecimiento de la productividad y reciclaje de nutrientes en zonas de humedal.

El presente estudio tiene como objetivo determinar si existe alguna diferencia en la retranslocación (%RT) de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en *Annona glabra* y *Pterocarpus officinalis* entre zonas inundables y zonas menos expuestas a

inundación en el área de mitigación de la ciénaga Las Cucharillas y evaluar cómo comparan los %RT de N, P y K, entre estas especies.

Método

Área de estudio

Este estudio fue desarrollado en la zona del antiguo cauce del río Bayamón donde se encuentran las áreas mitigadas equivalentes a 12,140 m² (Figura 1 y Figura 2). Estas mitigaciones tuvieron como propósito restablecer las funciones del humedal mediante el incremento de las cualidades del ecosistema, el control de especies invasivas, la disminución de contaminantes y el desarrollo de estrategias adecuadas para la siembra de especies nativas en función de las características ecológicas del humedal (Arana, 2008; Franceschini, 2008).



Figura 1: Ciénaga Las Cucharillas y área de estudio.

Las zonas fueron identificadas según la influencia del agua sobre los suelos. Para establecer el análisis en función de esta condición abiótica, agrupamos los individuos de las especies estudiadas entre áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación (secas), las cuales identificamos respectivamente en el área de estudio (Figura 2).



Figura 2: Área de estudio y localización de las especies arbóreas muestreadas (Imagen Satelital 2010)

Descripción de las especies

Las especies arbóreas consideradas en este estudio fueron el *Pterocarpus officinalis* y *Annona glabra* por ser las que principalmente fueron empleadas para las mitigaciones desarrolladas en Las Cucharillas. El *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. Esta especie se distribuye principalmente 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. La misma, tiene la capacidad de desarrollarse en humedales donde la salinidad juega un rol importante en estos ecosistemas. Por tal razón, esta especie ha demostrado que puede persistir en ciertos rangos de salinidad a pesar de que la misma no es considerada como una especie propiamente halofita (Medina, Cuevas & Lugo, 2007).

Annona glabra conocida comúnmente como cayur, corazón cimarrón, anón de pantano o guanábana de pantano (Little et al., 1988) crece comúnmente en asociación con otras especies incluyendo a *Pterocarpus officinalis*. 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. 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 aerenquimas en sus tejidos (Zotz, Tyree & Patiño, 1997).

Muestreo y análisis

Colectamos muestras de material foliar de 5 individuos de cada una de las especies estudiadas entre las áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación (secas) para un total de 20 individuos (Figura 2). De cada uno de los individuos muestreados, colectamos 5 hojas maduras y 5 hojas senescentes (Killingbeck, 2006; Pérez et al., 2003). Las colectas las llevamos a cabo mensualmente desde noviembre 2010 hasta marzo 2011. Durante estos meses, tomamos 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 del área de estudio. También tomamos muestras de suelo a una profundidad aproximada de 30cm utilizando un barreno de acero (Bridham et al., 1995; Lugo, 1999). Tomamos las muestras de suelo en cinco puntos pre-determinados donde se encuentran la mayoría de los individuos muestreados, para un total de 10 muestras.

Una vez colectadas las muestras, determinamos el área foliar (cm^2) mediante un medidor de área foliar modelo LI-CoR-3100. También determinamos el peso seco (g) para de esta forma obtener el área foliar específica (AFE), mediante la razón entre el área foliar y el peso seco (cm^2/g) (Pérez Amaro et al., 2004). El AFE fue utilizado para estimar el %RT de N, P y K corregido por unidad de AFE. El N total, tanto en hojas maduras como en las senescentes, fue determinado mediante la aplicación del método Kjeldahl. 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 fueron presentados como porcentaje de nutriente en el material foliar. Determinamos el pH del suelo y la concentración total de N mediante el método Kjeldahl; el contenido total de P mediante el método Olsen, Bray II, y para K mediante extracción con acetato de amonio con $\text{pH}=7$. Una vez determinada el área foliar específica y las

concentraciones totales de N, P y K, tanto en hojas maduras como en las hojas senescentes, estimamos el %RT de N, P y K en las especies arbóreas bajo estudio, según Allison & Vitousek (2004), Lugo, (1998), Lin & da Silveira Lobo Sternberg, (2007) y Van Heerwaarden, Toet & Aerts (2003) mediante la fórmula:

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

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

Con 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 llevamos a cabo una prueba *ANOVA*-factor simple ($p < 0.05$) para establecer si había diferencia significativa en los %RT de N, P y K entre áreas inundables y menos expuestas a inundación (secas) y un análisis del coeficiente de correlación *Pearson* ($p < 0.05$) 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 la retranslocación de nutrientes entre las especies estudiadas.

Resultados y discusión

Nutrientes en suelo

Las concentraciones promedio de N, P y K son similares en suelos de áreas inundables y en los suelos de áreas menos expuestas a inundación. No encontramos diferencia significativa en las concentraciones para ninguno de los nutrientes entre los suelos muestreados con $p > 0.05$ según el análisis de ANOVA. Estos resultados son consistente con lo expuesto en los estudios de Montagnini y Jordan (2002) y Lugo, Brinson y Brown (1990), quienes establecen 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.

Porcentaje RT en función de la inundabilidad de los suelos

Los resultados obtenidos del %RT de N, P y K muestran diferencias en función del factor de inundación. Nuestros datos reflejaron que para N y P, el *Pterocarpus* mostró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en los %RT de estos nutrientes, donde los valores más altos están en áreas menos expuestas a inundación o secas (Figura 3a, b y c). *Annona* no mostró diferencias significativas en los %RT de N y P en comparación con el *Pterocarpus*. 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 los de Lugo, Brinson y Brown (1990) y Peng y Liu (2002; 2005) exponen que humedales con una mayor influencia de agua dulce (menos sal) tienden a mostrar una baja EUN en términos de retranslocación de nutrientes comparados con humedales costeros, debido a que la influencia de este factor abiótico sobre el suelo puede aumentar la disponibilidad de nutriente al facilitar los procesos de mineralización de estos elementos, el transporte y acumulación de sedimentos y el aumento en las tasas de descomposición de hojarasca. En cuanto al %RT de K no encontramos diferencias significativas en ninguna de las especies arbóreas entre áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación (secas). 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 3a, b y c).

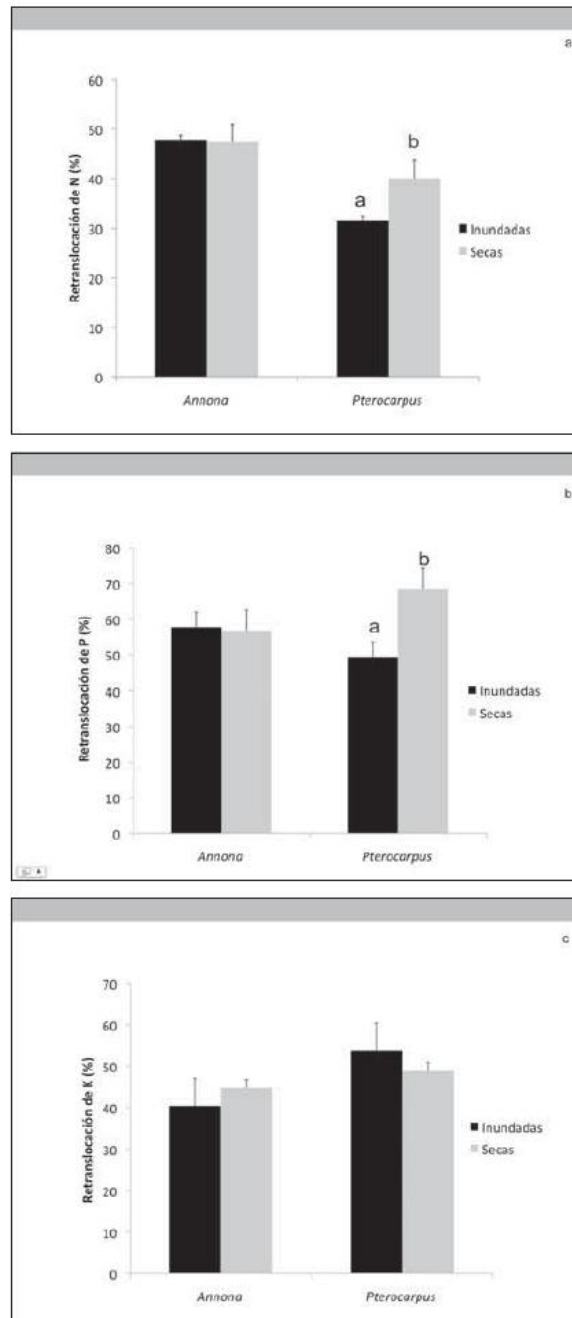


Figura 3a, b y c. Retranslocación promedio (\pm SE) de N-(A), P-(B) y K-(C) en *Annona* de áreas inundadas (n=3) vs. áreas secas (n=7) y retranslocación promedio (\pm SE) de N-(A), P-(B) y K-(C) en *Pterocarpus* de áreas inundadas(n=5) vs. áreas secas (n=5). Las letras denotan diferencia significativa mediante la prueba ANOVA-factor simple ($p \leq 0.05$).

Medina et al. (2007) estableció que para este nutriente (K), *Pterocarpus* aumenta su captura a través de las raíces por compartimientos especializados que desarrolla cuando se encuentra en ambientes expuestos a la salinidad como aclimatación a estas condiciones. Por lo tanto, al encontrarnos en un ambiente donde la salinidad no es un factor tan influyente en las características de este humedal, los individuos de esta especie quizás no recurren a la activación excesiva de este mecanismo 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.

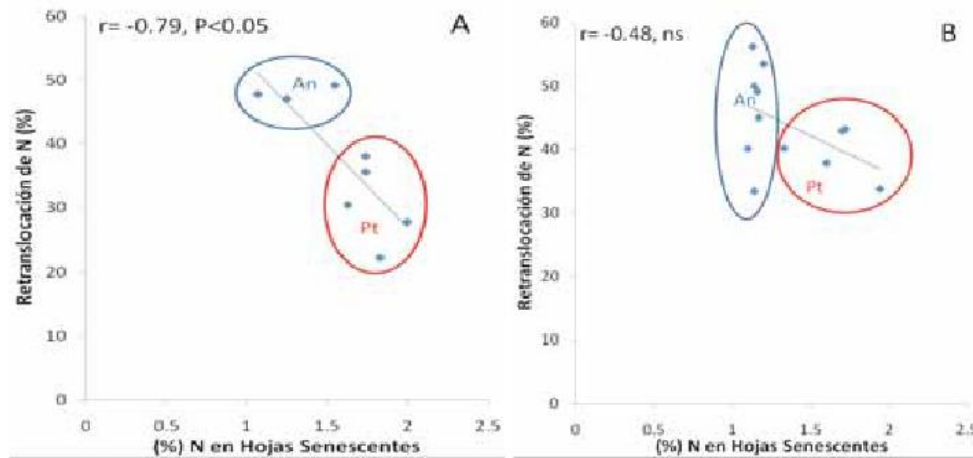
Variación temporal en los %RT de N, P y K

La estacionalidad ambiental es un aspecto que nos ayuda a ver cómo el factor de inundación influye el desempeño fisiológico de las especies arbóreas en términos de retranslocación de nutrientes. La precipitación anual registrada desde el 1971 al 2000 para el área de Cataño muestra que los valores más bajos se concentraron en 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). Esto es consistente con lo encontrado en las áreas menos expuestas al factor de inundación (secas) en donde se observan los porcentajes de retranslocación más altos. Por lo tanto, podemos ver cómo la influencia del agua es un factor que incide en la respuesta fisiológica de estas especies en términos de uso de nutrientes.

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

Nuestros resultados evidencian una relación inversamente proporcional entre los %RT y el contenido de nutrientes (N, P y K) en las hojas senescentes con coeficientes de correlación (r) negativos y significativos ($p \leq 0.05$). En cuanto a nitrógeno, observamos que la especie *Annona* mostró los %RT más altos para este nutriente (Figura 4a, b y c) en comparación con el *Pterocarpus*, tanto en áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación (secas). Esto implica que en la especie *Annona* se observaron las concentraciones más bajas en sus hojas senescentes comparadas con las del *Pterocarpus*. El patrón encontrado en los %RT de N puede ser explicado mediante la fisiología que presenta el *Pterocarpus* para este nutriente. Medina et al. (2007) y Pérez & Heartsill (2008) establecieron que esta especie posee

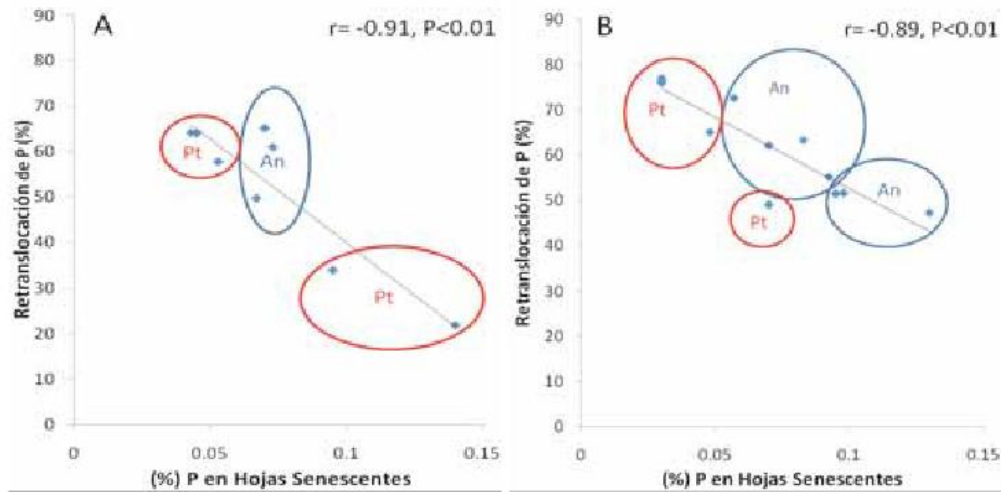
relaciones simbióticas bien desarrolladas con bacterias fijadoras de N_2 , las cuales son mucho más desarrolladas en humedales de agua dulce. Según Killingbeck (1996), especies que presentan estas relaciones simbióticas bien desarrolladas tienden a mostrar concentraciones más altas de N en las hojas 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. Esto se traduce en porcentajes de retranslocación más bajos como muestra el *Pterocarpus officinalis*.



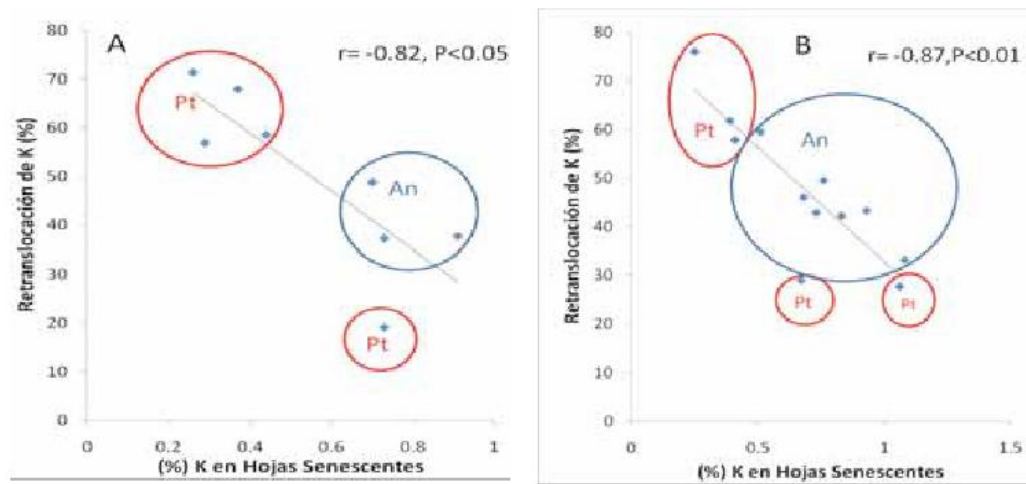
Figuras 4a y 4b. Retranslocación promedio de N en relación al contenido total de N (%) en las hojas senescentes de las especies *Annona* (An) ($n=3$) y *Pterocarpus* (Pt) ($n=5$) en áreas inundadas y *Annona* ($n=7$) y *Pterocarpus* ($n=5$) en áreas secas. (A) representa los individuos en áreas inundadas y (B) representa los individuos en áreas secas. Se muestra el valor del coeficiente de correlación *Pearson* (r) y la probabilidad (p).

En cuanto a P y K, (Figura 5 y Figura 6), observamos que la mayoría de los individuos muestreados de *Pterocarpus* mostraron ser más eficientes en el uso de estos nutrientes con %RT más altos comparados con *Annona*, tanto en áreas inundables como en áreas menos expuestas a inundación (secas). Por lo tanto, las concentraciones más bajas de P y K se registraron en las hojas senescentes de *Pterocarpus* al demostrar ser más eficientes. Basado en estos resultados, podemos establecer que el *Pterocarpus* es más eficiente en el uso de P y K, sobre todo en áreas menos expuestas a inundación (secas) comparado con los individuos de la especie *Annona*. Los resultados encontrados en nuestro estudio coinciden con los hallazgos de varios estudios importantes sobre retranslocación de nutrientes durante la senescencia de las hojas como el de Allison & Vitousek (2004), Aerts (1996) y Killingbeck (1996). Estos estudios 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. Esto se traduce fisiológicamente, 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.



Figuras 5a y 5b. 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).



Figuras 6a y 6b. 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).

Conclusiones

Las concentraciones de N, P y K en suelos inundables y en aquellos menos expuestos a inundación no reflejaron diferencias significativas en las concentraciones de nutrientes. Esto resalta que la inundabilidad que presenta la zona de mitigación es un factor influyente y determinante en la disponibilidad de nutrientes y por consiguiente en el desempeño fisiológico de las especies en términos de retranslocación (Bridham et al., 1995; Knops et al., 1997; Silver 1994). Nuestros datos reflejaron que tanto el P y el K son los nutrientes que presentan las concentraciones más bajas en los suelos, tanto en áreas inundables como en áreas menos expuestas a inundación (secas). 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 elementos limitados en la mayoría de los ecosistemas terrestres (Lugo, Brinson & Brown, 1990; Montagnini & Jordan, 2002). En términos de la retranslocación de N, P y K en función del factor de inundación, nuestros resultados establecen diferencias bien marcadas en las especies arbóreas estudiadas. En este sentido, el *Pterocarpus* resultó ser la especie más eficiente en áreas menos expuestas a inundación (seca). La inundabilidad que puede exhibir un área puede influir en la disponibilidad de nutrientes y en consecuencia en el desempeño fisiológico de las especies en términos de retranslocación (Kozlowski, 1984; Lugo et al., 1990). La fisiología que presenta el *Pterocarpus officinalis* puede explicar por qué esta especie muestra una mayor eficiencia en el uso de P y K (Medina et al., 2007) tanto en áreas inundables y áreas menos expuestas a inundación comparada con *Annona*.

Al establecer las comparaciones fisiológicas entre las especies, en términos de retranslocación de nutrientes, encontramos que los %RT de N fueron más altos para *Annona* comparada con el *Pterocarpus*. En este sentido, el contenido total de N en las hojas senescentes de *Pterocarpus* fue mucho más alto comparado con el 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 el *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 comparados con la *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 comparado con otras especies, lo cual se traduce en %RT de N más bajos. En cuanto a la retranslocación de P y K, podemos concluir que los

individuos de *Pterocarpus* son más eficientes en el uso de estos nutrientes al presentar los %RT más altos comparados 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 comparadas con el contenido total de estos nutrientes en las hojas senescentes de la especie *Annona*. El *Pterocarpus* muestra una mayor eficiencia para P y el K sobre todo en áreas menos expuestas a inundación.

Establecemos que para fines de manejo en humedales de este tipo es importante tomar en cuenta cómo el factor de inundación influye el desempeño fisiológico de las especies arbóreas, en especial en las áreas menos expuestas a este factor. Estos resultados muestran que principalmente el *Pterocarpus officinalis* posee una mayor versatilidad en cuanto al uso eficiente de nutrientes por lo que esta respuesta fisiológica debe ser considerada para promover el éxito de esta restauración. Las condiciones ambientales que presenta este ecosistema son importantes ser evaluadas para conocer la capacidad de tolerancia y la fisiología que presentan las especies arbóreas que se implementan en el área de mitigación y de esta manera asegurar un mayor éxito en los esfuerzos de restauración que se desarrollan en esta zona.

Agradecimientos

A la Dra. Tamara Heartsill, el Dr. Ernesto Medina y al personal del laboratorio del Instituto Internacional de Dasonomía Tropical por las recomendaciones al trabajo y los equipos y el soporte técnico necesario en aspectos metodológicos del estudio. Al personal del Laboratorio Agrológico del Departamento de Agricultura de Puerto Rico. En especial a la Lcda. Sonia Carrasquillo, por la colaboración en los análisis químicos. A Jossie Curbelo por la ayuda brindada en los trabajos en el campo.

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.

- Arana, B. (2008). *Análisis de la productividad y estructura forestal en el área mitigada de la ciénaga Las Cucharillas* (Disertación de tesis no publicada). Universidad Metropolitana, San Juan, Puerto Rico.
- Bridham S. D., Pastor, J., McClaugherty, C. A., & Richardson, C. J. (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.
- 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.
- Escudero, A., & Mediavilla, S. (2003). Dinámica interna de los nutrientes. *Ecosistemas*, 1, 12-25.
- Franceschini, F. (2008). *Evaluación comparativa de dos mitigaciones realizadas en la ciénaga Las Cucharillas* (Disertación de tesis no publicada). Universidad Metropolitana, San Juan, Puerto Rico.
- 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.
- Kozlowski, T. T. (1984). Plant responses to flooding of soil. *BioScience*, 34(3), 162-167.
- Knops, J. M. H., Koeing, W. D., & Nash III, T. H. (1997). On the relationship between nutrient use efficiency and fertility in forest ecosystems. *Oecología*, 110, 550-556.
- Lin Y., & da Silveira, L., 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.
- Little, E. J., Roy, O. W. & Wadsworth, F. H. (1988). *Árboles de Puerto Rico y Las Islas Vírgenes, Volumen 2*. Washington D. C: USDA, Forest Service.

- Little, E. J., & Wadsworth, F. H. (1995). *Common trees of Puerto Rico and the Virgin Islands*. Washington D. C: USDA, Forest Service.
- 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. In A. Lugo., M. Brinson, & S. Brown (Ed.), *Forested Wetlands*. (pp.447-461). Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- Lugo A. (1998). Mangrove ecosystem with emphasis on nutrient cycling. In B. Gopal, P. S. Pathak, K. G. Saxena (Eds.). *Ecology Today: An anthology of contemporary ecological research* (pp. 279- 305). New Delhi: International Scientific Publications.
- 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.
- Medina, E., Cuevas, E., & Lugo, A. (2007). Nutrient and salt relations of *Pterocarpus officinalis* in coastal wetlands of the Caribbean: assessment trough leaf and soil analyses. *Trees*, 1-7, Springer. doi:10.1007/s00468-007-0125-3.
- Montagnini, F., Jordan, C. F., & Machado, M. (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). USA: CRC Press.
- Montagnini, F., & Jordan, C. F. (2002). Reciclaje de Nutrientes. In M. R. Guariguata & G. H. Kattan (Ed.) *Ecología y conservación de bosques neotropicales* (pp.167-191). Cartago, Costa Rica: Ediciones LUR.
- Peng, S. L., & Liu, Q. (2002). The dynamics of forest litter and its responses to global warming. *Acta Ecológica Sinica*, 22(9), 1534-1544.

- Pérez Amaro, J.A., García, E., Enríquez, J. F., Quero, A. R., & Hernández, J., P. (2004). A growth analysis, specific leaf area and leaf nitrogen concentration in “mulato” grass (*Brachiaria híbrido*, cv). *Técnica Pecuaria en México*, 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.
- Silver, W. L. (1994). Is nutrient availability related to plant nutrient use in humid tropical forests? *Oecología*, 98, 336-343.
- 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.
- 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. L.M. (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.

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

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

*Joanne Negrón Caldero, MSEM¹, Harry Peña Ruiz, MSEM¹,
Carlos R. Morales Agrinzoni, MSEM¹, Beatriz Zayas Rivera, Ph.D.¹*

Abstract – We evaluated the potential risks associated to the presence of polychlorinated biphenyls (PCB's) in Las Cucharillas marsh and their adjacent communities located in the Cataño municipality. The sampling was performed in 2008 at 12 different areas. The selected areas were previously studied for heavy metals presence: power substation of the Puerto Rico Electric Power Authority, thermoelectric adjacent to the marsh and an clandestine dump site. Twelve soil samples taken at 0.61 meters depth and eight congeners for PBC's were analyzed. Chemical analysis was performed by Beckton Laboratories Inc. following the EPA 8082 method. PCB's concentration values were evaluated against the established regulatory agencies value range. All the results obtained (0.0430.092 milligrams per kilogram of soil) were below the concentration range with the exception of the Threshold Effect Limit (TEL). TEL concentrations are the minimal concentrations to which persons can be exposed and rarely observe adverse biological effects. When the potential PCB's exposure impacts in adjacent communities were evaluated, we concluded that they were minimal. Nevertheless, more susceptible organisms than humans can be affected based on the fact that PCB's can be bioaccumulated and biomagnified. The lower concentrations of PCB's obtained could be the result of the movement of organic matter with PCB's, to the aquatic systems during rainfall periods. Since data obtained were lower than the detection limit of the instrument, we concluded that it could be the result of the presence of PCB's traces, the instrument's interference or, a combination of both. Therefore, we recommend to repeat this investigation using an instrument with a lower detection limit, as well as to determine the possible presence of PCB's in the aquatic system, aquatic sediments, fauna and flora of the Las Cucharillas Marsh. Since studies have demonstrated that microorganisms and some kinds of trees partially biodegrade PCB's wetland sediments, we also recommend to perform studies to evaluate this phenomenon.

Palabras clave: Bifenilos policlorados, PCBs, ciénaga Las Cucharillas, método 8082 de la EPA, Aroclor 1254

¹Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, PO Box 21150, San Juan, PR, 00928, 787-766-1717; jn.zimmetry@gmail.com

Introducción

Los bifenilos policlorados (PCBs, por sus siglas en inglés) son una mezcla de hasta 209 compuestos clorados. Están formados por dos anillos de benceno unidos por un enlace carbono con átomos de cloro (Cl) sustituidos en algunos de los diez átomos de hidrogeno restantes o en todos ellos (ATSDR, 2005). Son sustancias con una fórmula empírica general $C_{12}H_{10-n}Cl_n$ donde n es el número de átomos de cloro en el intervalo de 1 a 10. El número y posición de los átomos de cloro determina las propiedades biológicas y su comportamiento ambiental de cada uno de los PCBs. Además, los bifenilos policlorados son líquidos aceitosos o sólidos, incoloros a amarillo claro (ATSDR, 2000).

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), los PCBs están considerados como uno de los 12 contaminantes más nocivos fabricado por el hombre (Erickson, 1997). Debido a su gran estabilidad térmica, química y biológica, los PCBs se usaron hasta mediados de los años 70, como aislantes para equipos eléctricos tales como: transformadores, interruptores, termostatos, capacitadores, televisores, neveras, acondicionadores de aire, abanicos de techo, hornos de microondas, y freidoras industriales, entre otros (Harracá, 2003). Los PCBs son contaminantes orgánicos persistentes (COP), es decir, sustancias químicas que son duraderas, se bioacumulan, se biomagnifican a través de toda las redes tróficas y tienen efectos adversos tanto en la salud humana como en el medio ambiente (Allsopp & Erry, 2000).

Los componentes tóxicos pueden filtrarse a través de la columna de agua o ser ingeridos por los organismos que habitan en los suelos que actúan como una represa para diversos contaminantes, e impactar la cadena trófica (Santschi, Presley, & Wade, 2001). Los PCBs pueden recorrer grandes distancias y se han encontrado en los lugares más recónditos del planeta incluso en lugares muy alejados de donde se produjeron y/o fueron utilizados. Se han encontrado PCBs en por lo menos 500 de los 1,598 lugares de la Lista de Prioridades Nacionales identificados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) (ATSDR, 2000). Los estuarios, en particular, tienden a acumular grandes cantidades de material particulado contaminado con PCBs procedente de las escorrentías de los ríos, lo que contribuye al impacto ambiental en estos ecosistemas (Zoest & Eck, 1990).

Las zonas aledañas a los estuarios, como son los humedales, también pueden contener estos contaminantes en suelos. En los humedales el nivel freático está generalmente en o cerca de la superficie del terreno, o el terreno está cubierto por aguas poco profundas. La ciénaga Las Cucharillas (18°26'39"N; 66°8'27"O), la cual

forma parte del estuario de la bahía de San Juan, es un ecosistema vulnerable a este proceso (SJBEP, 2000). Es importante mencionar que la Ciénaga actúa como una zona de amortiguamiento mediante el control de inundaciones y la filtración de contaminantes. Los PCBs pasan de la columna de agua a los suelos donde pueden formar parte de la cadena alimentaria, bioacumulándose en los tejidos de los peces y crustáceos (Kashem, 2000). La Ciénaga ha sido utilizada desde hace muchos años para la disposición ilegal de desperdicios sólidos como autos, neveras y equipos electrodomésticos. Además, la Ciénaga recibe las escorrentías de las industrias cercanas. Por ende, a través de los años se han dado las condiciones idóneas para sospechar que puede existir contaminación por PCBs en los suelos.

La contaminación por los PCBs ha sido relacionada con impacto al ambiente y a la salud de los seres humanos. La exposición a los PCBs durante el embarazo causan daños en el desarrollo del cerebro del feto afectando la hormona tiroidea, bebés con bajo peso al nacer y abortos espontáneos. La exposición a los PCBs causa problemas en el desarrollo neurológico, en la coordinación psicomotora, en la memoria y en el reconocimiento visual en los niños. En los adultos, los estudios han demostrado que al estar expuestos a PCBs provoca alteraciones en el funcionamiento hormonal, cáncer en el hígado y en el cerebro. Además, el cáncer de seno se ha relacionado con la exposición de PCBs (Bajarano, 2004).

Este estudio tiene como propósito determinar la presencia de PCBs en los suelos de la ciénaga Las Cucharillas en Cataño. Nos preguntamos si existe la presencia de PCBs en los suelos de la ciénaga Las Cucharillas, y si las concentraciones son mayores que los parámetros establecidos para suelos. De esta manera, podríamos determinar los riesgos potenciales a las comunidades adyacentes.

Método

Durante marzo del 2008, tomamos muestras de suelo en 12 puntos de muestreo en la ciénaga Las Cucharillas (Tabla 1) de acuerdo al método 8082 de la EPA. Este método analítico utiliza cromatografía de gas (GC, por siglas en inglés) para realizar el análisis de las muestras. El suelo es tipo *Saladar muck* y *clayey sand*. Tomamos las muestras de suelo en las áreas aledañas a las descritas por Sotomayor (2007) con la finalidad de caracterizar la zona. Las áreas fueron la comunidad Cucharillas, en la colindancia entre Valparaíso y Puente Blanco; en dos zonas del caño La Malaria y en la parte norte de las Parcelas William Fuerte. Además, recolectamos muestras de seis áreas adicionales donde existen actividades antropogénicas parecidas. Estas zonas fueron el área cercana a la compañía Andrés

Reyes Burgos Inc., cerca del antiguo cauce del río Bayamón, en los terrenos cercanos a la termoeléctrica de Palo Seco, en dos sub-estaciones de la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE) y en los terrenos cercanos a la termoeléctrica de San Juan.

Tabla 1

Descripción de las muestras recolectadas en el área de estudio

Punto de muestreo	Coordenadas	Descripción
1	18°25'371"N y 66°07'740"O	Muestra tomada cerca del inicio del caño La Malaria. Temperatura: 22.22°C; elevación: 6 ft
2	18°25'894"N y 66°8'221"O	Muestra tomada entre la colindancia de las comunidades Valparaíso y Puente Blanco. Temperatura: 27.78°C; elevación: 15 ft.
3	18°26'046"N y 66°07'922"O	Muestra tomada en la carretera PR5 frente a la calle Caribe y al lado de la Compañía Andrés Reyes Burgos Inc. Temperatura: 26.11°C; elevación: 24 ft.
4	18°26'837N y 66°8'207"O	Muestra tomada cerca de la desembocadura del caño La Malaria, debajo del puente de la carretera PR165. Temperatura 24.44°C; elevación 24 ft.
5	18°27'770N y 66°8'396"O	Muestra tomada en la carretera PR870, en la desembocadura del río Bayamón. Temperatura: 32.22°C; elevación: 7 ft.
6	18°26'999"N y 66°9'815"O	Muestra tomada en la rivera del río Bayamón, en el sector la Ermita, en la carretera PR-165. Temperatura: 26.67°C; elevación: 111 ft.
7	18°26'998N y 66°9'814"O	Muestra tomada frente de la Termoeléctrica de Palo Seco en la carretera PR-165. Temperatura: 31.11°C; elevación: 10 ft.
8	18°26'354"N y 66°09'065"O	Muestra tomada en la parte norte de las parcelas William Fuertes en la carretera PR869. Temperatura: 32.22°C; elevación: 13 ft.
9	18°26'319N y 66°9'045"O	Muestra tomada en la Estación de Aprendizaje Comunitario en la Comunidad de Las Cucharillas. Temperatura: 26.67°C; elevación: 24 ft.
10	18°26'112N y 66°7'999"O	Muestra tomada en los límites de la Sub-estación de la AEE en la salida hacia Barrio Palmas de Cataño de la carretera PR 22. Temperatura: 26.67°C; elevación: 2 ft.
11	18°27'000N y 66°8'304"O	Muestra tomada en la Sub-estación de AEE en la calle Laguna de la Urbanización Bay View. Temperatura: 26.67°C; elevación: 2 ft.
12	18°26'998N y 66°9'814"O	Muestra tomada en los terrenos entre la Termoeléctrica de San Juan y la carretera PR-28. Temperatura: 26.67°C; elevación: 0 ft.

Marcamos cada punto de muestreo, llamado punto central. Luego, desde este punto medimos 4.88 metros hacia los cuatro puntos cardinales y los marcamos. En cada punto establecido, tomamos una muestra de suelo de aproximadamente

0.6096m de profundidad utilizando un barreno. Todas las muestras fueron depositadas en un envase de metal y las homogenizamos utilizando una espátula de metal (Gevao, Beg, & Al-Omair, 2006). Localizamos cada punto con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés) marca Magellan, modelo Explorist 300. Además, el GPS, lo utilizamos para medir la elevación del área. La temperatura del suelo la medimos con un termómetro Bi-Therm Taylor. La muestra compuesta, la recolectamos en un envase esterilizado de 236.58 mL con tapa de revestimiento de Teflón. Evitamos que la muestra hiciera contacto con los guantes de los investigadores y/o con cualquier otro material de plástico (Smith, 1999). Etiquetamos las muestras y las preservamos en una hielera a una temperatura 6°C aproximadamente (EPA, 2007b). No añadimos preservativos a las muestras.

Complementamos la cadena de custodia para cada uno de los 12 puntos de muestreo. Enviamos las muestras a analizar al laboratorio Beckton Environmental Laboratories, Inc, el cual está licenciado y regulado por las agencias estatales y federales. Para la extracción de la muestra, el laboratorio utilizó el método SW 846 3540C de la EPA por medio de una extracción soxhlet (EPA, 1996b). Luego, las muestras fueron analizadas por el método 8082a de la EPA en el Cromatógrafo de Gas (EPA, 1996a). Los análisis de las muestras fueron para 8 congéneres de PCBs (ATSDR, 2008). Los 12 puntos de muestreo están ubicados geográficamente en la Figura 1 y explicados en la Tabla 1. El método 8082 de la EPA es usado por Beckton Environmental Laboratories, INC. para determinar las concentraciones de PCBs extraídos de matrices sólidas o líquidas, analizadas por un cromatógrafo de gas. Este método puede identificar los 8 congéneres más comunes de PCBs.

Los suelos con una concentración menor de 1 ppm de PCBs están considerados como no peligrosos al ambiente, según la EPA. Una concentración mayor a 1 ppm está considerada como peligrosa al ambiente y debe ser reportado a la EPA para una evaluación y posible consideración para entrar a la lista de Superfondo (EPA, 2007a).

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en los 12 puntos de muestreo fueron analizados para los ocho congéneres de PCBs. El promedio de los resultados de los 12 puntos de muestreo fue de 0.052 mg/kg. El método de análisis 8082 utilizado para esta investigación establece un rango entre 0.057 a 0.070 mg/kg como el límite de detección mínimo (MDL, por sus siglas en inglés). Entre más clorado sea el congénere de PCB mayor es el MDL (EPA, 1996b).

La ley federal Toxic Substances Control Act (TSCA, 40 CFR §761) establece que los suelos con una concentración menor o igual de 1mg de PCBs por cada kilogramo de suelo (1 mg/kg) no están regulados y no es necesario realizar una limpieza y/o remoción de PCBs del lugar (TSCA, 2007). La guía de concentración riesgo de suelo (RBC por sus siglas en inglés) establece 0.32 mg/kg de PCBs como parámetro mínimo para áreas residenciales (EPA, 2005b). La guía para remediación preliminar (PRG, por sus siglas en inglés) nos indica que 6.3 mg/kg como el valor mínimo de exposición (EPA, 2005a). Además, el RBC y el PRG nos indican que sobrepasar estos parámetros tendrá como posibles efectos a la salud de los seres humanos el desarrollo de cáncer.

La guía de evaluación de calidad de suelos (SQAG, por sus siglas en inglés) nos muestra el umbral mínimo específico de exposición (TEL por sus siglas en inglés) que es 0.0341 mg/kg, es decir, una dosis por debajo de la cual no ocurren efectos adversos. También mide los efectos probables (PEL, por sus siglas en inglés) de los PCBs que es de 0.277 mg/kg. Además, nos indican que el parámetro de efectos severo (SEL, por sus siglas en inglés) es de 5.300 mg/kg (MacDonald, Mackay, & Hickie, 2002).

La EPA junto a United States Geological Survey (USGS) establecen las concentraciones de efectos probables de PCBs en suelo de 0.676 mg/kg. La National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) implantaron la guía de calidad de suelos. Esta guía nos presenta dos parámetros: efectos mínimos (ERL, por sus siglas en inglés) y efectos medianos (ERM, por sus siglas en inglés). El ERL es de 0.0277mg/kg y el ERM es de 0.180 mg/kg para los PCBs en los suelos (EPA, 2006).

La EPA establece la *dosis de referencia* (RfDs, por sus siglas en inglés), la cual es la dosis que establece hasta donde los miembros más sensibles de la población pueden ser expuestos durante un período de vida completo (72 años) sin observarse efectos adversos sobre su salud. La EPA ha establecido RfDs para dos mezclas específicas de PCBs, Aroclor 1254, es de 0.02 µg de PCBs/kg peso corporal por día y de Aroclor 1016 es de 7×10^{-5} mg/kg/día (EPA, 1996a).

Los resultados para los 12 puntos de muestreo fueron no detectables, debido a que fueron iguales al límite detección del instrumento que es 1 mg/kg. Los resultados numéricamente son diferentes debidos a la variación con el peso que se utilizó de las muestras sólidas. Al comparar los resultados de las 12 muestras con los parámetros de las agencias reguladoras de PCBs en suelo, encontramos que las concentraciones de las muestras están por debajo de los valores máximos permisibles. La Tabla 2 muestra las concentraciones de PCBs totales por muestra.

Tabla 2

Concentración de PCBs en los puntos de muestreo de la ciénaga Las Cucharillas, Cataño

Punto de muestreo	Concentración PCBs totales mg/kg
1	0.044
2	0.043
3	0.045
4	0.044
5	0.052
6	0.049
7	0.047
8	0.047
9	0.092
10	0.055
11	0.052
12	0.054

Comparamos los resultados de los 12 puntos de muestreo con los resultados obtenidos del estudio realizado en el estuario de la bahía de San Juan (Webb, Gómez, & McIntyre, 1998). Las concentraciones de PCBs encontradas en la Ciénaga son considerablemente menores que en el Estuario. En dicho estudio reportaron que en el Caño Martín Peña y en Los Corozos se encontraron concentraciones de PCBs de 0.45 mg/kg y de 0.36 mg/kg, respectivamente, para principios de la década de los '90. También indican que estas concentraciones se espera que decrezcan con el paso de los años, debido a que el uso de los PCBs se encuentra regulado y a la degradación microbiana.

Otro estudio (Marrero, Norat & Rosario, 2000) realizado en la Laguna San José y en su tributario el Caño Martín Peña para identificar la presencia de PCBs y otros contaminantes encontró concentraciones de PCBs de 0.664ppb en el agua de ambos cuerpos de agua. Indican que en época de lluvia las concentraciones de PCBs aumentan, debido a que la manifestación atmosférica rompe con el equilibrio de la laguna, produciendo que las sustancias tóxicas adheridas a los suelos suspendidos en el fondo de la laguna entren a la columna de agua y alteren el equilibrio de la laguna, y generan que las sustancias tóxicas adheridas a los suelos suspendidos en el fondo de la laguna entren a la columna de agua (Marrero, 1998).

Los resultados para los 12 puntos de muestreo sobrepasaron el Límite de Efectos Umbrales (TEL, por sus siglas en inglés). El TEL son las concentraciones mínimas a las que las personas pueden estar expuestas y los posibles efectos biológicos

adversos son raros. Al evaluar el impacto potencial a las comunidades adyacentes por exposición a PCBs, determinamos que es mínimo. Aquellos organismos más susceptibles que los seres humanos pueden ser afectados, ya que los PCBs se bioacumulan y se biomagnifican. Además, si los PCBs entran en la cadena trófica paulatinamente podría exponer a las comunidades adyacentes.

Los resultados del análisis de PCBs para las muestras de suelo en la ciénaga Las Cucharillas son descritos como no detectables debido a varias causas. Una de las posibilidades es que la ciénaga no haya sido expuesta a los PCBs en contraste con estuario de la bahía de San Juan. Los PCBs se adhieren a las partículas orgánicas que se encuentran en el suelo. Cuando llueve o hay inundaciones estas partículas pueden movilizarse hacia los cuerpos de agua adyacentes. En la zona de estudio las inundaciones son frecuentes, permitiendo que los contaminantes de los suelos lleguen a los cuerpos de agua del lugar. Ya en el agua las partículas más pesadas se precipitan hacia los suelos acuáticos. En el agua las partículas orgánicas son ingeridas por micro-organismos y peces reproduciéndose a los niveles mayores de la cadena trófica. También las partículas en el suelo pueden moverse hacia suelos más profundos y llegar a las aguas subterráneas.

Además, los PCBs en los suelos de la ciénaga Las Cucharillas pudieron haber pasado por un proceso de biodegradación bacteriana. Este proceso se ha estudiado por los investigadores de la Universidad de Oklahoma que encontraron que 5 especies de árboles que crecen naturalmente, contienen bacterias y microorganismos que ayudan a la degradación de los suelos contaminados con PCBs. Algunas de las especies de árboles son el *Pinus nigra* y *Salix*. Además, en otras investigaciones se ha encontrado que la flora de los humedales pueden reducir el grado de cloración en suelos contaminados con PCBs (Smith, Schwab, & Banks, 2007). Es importante conocer qué especies de árboles se encuentran en la ciénaga y si estos de alguna forma han colaborado con degradación de lo PCBs en el suelos.

Limitaciones

El análisis de PCBs en suelo es costoso, lo cual fue un factor limitante para hacer muestreos adicionales. El tiempo de la recolección de muestra y el análisis de las mismas conlleva aproximadamente 3 semanas. Las concentraciones no significativas de PCBs en los suelos de la Ciénaga, no debe limitar futuras investigaciones en la misma dirección.

Conclusiones y recomendaciones

Este estudio determinó que la presencia de PCBs en el suelo de la ciénaga Las Cucharillas en Cataño, Puerto Rico está por debajo de los límites establecidos. De estar presentes, esta investigación los hubiera detectado pues los PCBs son compuestos orgánicos persistentes en el ambiente. Su tendencia a permanecer y acumularse en organismos vivos, genera que la presencia de PCBs en el ambiente tenga una amplia gama de dispersión con múltiples efectos negativos. Los PCBs fueron usados por décadas como lubricantes y refrigerantes sin ser regulada su disposición al medio ambiente (ATSDR, 2005).

Los resultados de los 12 puntos de muestreo del área de la Ciénaga resultaron ser iguales al límite de detección del instrumento, indicando que la presencia de PCBs posiblemente se encuentra en trazas y/o simplemente no se encuentran. Podemos concluir preliminarmente que el suelo de la ciénaga Las Cucharillas se encuentra bajos niveles de PCBs, lo cual no presenta un riesgo mayor al medioambiente o a las comunidades adyacentes. Sería recomendable llevar a cabo estudios de PCBs en los peces, aves, sedimentos y lagunas de la Ciénaga. Esta investigación se podría ampliar analizando más puntos de muestro. Recomendamos utilizar la nueva tecnología de los inmunoensayos *RaPID Assay*. Esta técnica es costo-efectiva para múltiples muestreos.

Agradecimientos

A la Dra. Ivette Torres, a Richard R. Concepción y a Nayda F. Vélez.

Literatura citada

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2000). Bifenilos Policlorados (PCBs). Recuperado de http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts17.html

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2005). Toxicological profile for polychlorinated biphenyls (PCBs). Recuperado de <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp17.html>

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2008). ToxFAQs chemical agent briefing sheets (PCBs). Recuperado de www.atsdr.cdc.gov/cabs/pcb/index.html

- Allsopp, M., & Erry B. (2000). Sustancias químicas más allá de su control. Recuperado de <http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/sustancias-quimicas-mas-alla-d.pdf>
- Bajarano, F. (2004). Guía ciudadana para la aplicación del convenio de Estocolmo. 1ra edición. México: Fernando Bajarano.
- Batista, C. (2005). *Plan de manejo para la Reserva Natural la Ciénaga Las Cucharillas*. (Disertación de tesis de maestría no publicada). Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, San Juan, PR
- Erickson, M. D. (1997). *Analytical chemistry of PCBs*. 2da edición. New York: Lewis Publishers.
- Gevao, B., Beg, M. U., & Al-Omair, A. (2006). Spartial distribution of polychlorinet biphenyls in coastal marine sediments receiving industrial effluent in Kuwait. *Archive of Environmental Contamination and Toxicology*, 50, 166-174.
- Harracá, N. (2003). Normativas y respuestas para la eliminación de los bifenilos policlorados PCB. *Ambiente Ecológico*, 86, 12-18.
- Kashem, M. A. (2000). Trace elements concentration in sediment and some commercially important fishes and shell fishes of the Chittagong Coast, Bangladesh. Recuperado de http://www.physics.harvard.edu/~wilson/arsenic/conferences/Ghosh1999_abstracts.html
- MacDonald, R., Mackay, D., & Hickie, B. (2002). Contaminant amplification in the environment. *Environmental Science Technology*, 36(23), 457-462.
- Marrero, R. (1998). Chemical analysis of organic pollutants in sediments from a tropical estuary lagoon in the Caribbean (Disertación de tesis no publicada). Escuela Graduada de Salud Pública, Recinto de Ciencias Médicas, San Juan, Puerto Rico.

- Marrero, R., Norat, J., & Rosario, O. (2000). Análisis inmunoquímico para la detección de compuestos orgánicos tóxicos en aguas de la laguna San José: Estuario de la Bahía de San Juan, Puerto Rico Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/REPDOM/marrero.pdf>
- National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA]. (2006). Informe final de datos para el proyecto de muestreo bota en la isla de Vieques. Recuperado de http://www.response.restoration.noaa.gov/book_shelf/1261_ExecSumm_Spanish_060725.pdf
- San Juan Bay Estuary Program [SJBEP] (2000). Comprehensive Conservation and Management Plan: Water and sediment quality of SJBE. Recuperado de http://www.estuario.org/html/plandemanejo_e.html
- Santschi, P. H., Presley, B. J., & Wade, T. (2001). Historical contamination of PAHs, PCBs, DDTs, and heavy metals in Mississippi River Delta, Galveston Bay and Tampa Bay sediment cores. *Marine Environmental Research*, 52(1), 51-79.
- Smith, K. E., Schwab, A. P., & Banks, M. K. (2007). Phytoremediation of polychlorinated biphenyls (PCBs) contaminated sediment: a greenhouse feasibility study. *Journal of Environmental Quality*, 36, 239-244.
- Smith, R. K. (1999). *Handbook of environmental analysis*. New York: Genium Publishing Corporation.
- Sotomayor, C.J. (2007). *Evaluación de presencia de metales pesados en la ciénaga Las Cucharillas* (Disertación de tesis no publicada). Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana: San Juan, PR.
- Toxic Substances Control Act [TSCA] (2007) Polychlorinated biphenyls (PCBs) manufacturing, processing, distribution in commerce, and use prohibitions. 40 CFR 761.
- US Environmental Protection Agency. (1996a). *Method 8082a Polychlorinated Biphenyls (PCBs)*. Recuperado de <http://www.epa.gov/testmethods/pdfs/8082a.pdf>

- US Environmental Protection Agency. (1996b). Method SW-846 (3540C) *Extraction Techniques*. Recuperado de <http://www.epa.gov/sw.846/pdfs/3540c.pdf>
- US Environmental Protection Agency. (2005a). *Preliminary Remediation Goals (PRGs) residential soil*. Recuperado de <http://www.epa.gov/region9/waste/sfund/prg/>
- US Environmental Protection Agency. (2005b). *RBC residential soil*. Recuperado de <http://www.epa.gov/reg3hscd/risk/human/info/cover.htm>
- US Environmental Protection Agency. (2006). *Great lakes binational toxics strategy management assessment for polychlorinated biphenyls. Great Lakes National Program Office*. Recuperado de http://www.epa.gov/glnpo/bns/level1/Level1_PCBs_may06.pdf
- US Environmental Protection Agency. (2007a). *Polychlorinated biphenyls (PCBs) Region 5*. Recuperado de <http://www.epa.gov/toxteam/pcb/defs.htm>
- US Environmental Protection Agency. (2007b). *Technical factsheet on: Polychlorinated biphenyls (PCBs)*. Recuperado de <http://www.epa.gov/OGWDW/dwh/t-soc/pcbs.html>
- Webb, R. M., Gómez, F. & McIntyre, S. (1998, Julio). Contaminants in sediments deposited in the San Juan Bay Estuary System (1925-95). Third International Symposium on Tropical Hydrology. Symposium conducted at the meeting of Advancing Water Resources Research and Management Association, San Juan, Puerto Rico.
- Zoest, V., & Eck, V. (1990). Behaviour of particulate polychlorinated biphenyls and polycyclic aromatic hydrocarbons in the Sheldt Estuary. *Neth. J. Sea.*, 26, 89-96.

EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA DE METALES PESADOS EN LA CIÉNAGA LAS CUCHARILLAS

Carlos J. Sotomayor Rivera, MSEM, Beatriz Zayas, Ph.D.¹, Eduardo González, P.E., DEE, REM, CEA², Juan C. Musa, Ph.D.^{1}*

Abstract – Contaminants may persist in sediments and be absorbed by the vegetative tissue of plants. We analyzed the presence of heavy metals (cadmium, lead, zinc, iron, and copper) in sediments of Las Cucharillas Marsh to evaluate the potential health risks for the surrounding communities. Furthermore, we analyzed the presence of heavy metals in plant tissue, to establish the passage of the contaminants through the food chain. We collected sediment and plant samples on different dates. Results from the plant samples, did not evidenced contaminant migration through the food chain. However, sediment samples showed that concentrations of Cadmium and Copper exceed the maximum standards recommended by the Sediments Quality Assessment Guides (SQAG). We determined that only 25% of the samples have values over the Probable Effect Level. This indicates that the risk by metal exposure in the area may be tolerable to people; meanwhile educational measures must be taken, and identify the dangers of exposure to the contaminants.

Palabras clave: sedimentos, metales pesados, contaminación, humedales, ciénaga Las Cucharillas.

Introducción

La ciénaga Las Cucharillas se ha visto afectada adversamente por descargas sanitarias producto de la ausencia de alcantarillado sanitario en las comunidades cercanas (Ruiz, 1999). Otro aspecto es que esta ciénaga ha sido degradada por el pastoreo, los rellenos, la canalización de ríos y por el desarrollo urbano e industrial. La deposición de sedimentos en el área, convierte esta zona en un potencial depósito de metales pesados. Los metales en los pantanos pueden provenir de fuentes naturales y de fuentes antropogénicas (Matteucci et al., 2005). Los que provienen de fuentes naturales se encuentran como parte de los componentes del suelo. Mientras que los

¹Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, PO Box 21150, San Juan, PR, 00928; bzayas@suagm.edu

² Agencia de Protección Ambiental, Región II, 1492 Ponce de León, San Juan, PR 00907

provenientes de origen antropogénico pueden llegar a través de fuentes industriales. La deposición de sedimentos puede provenir de los sólidos suspendidos y de la materia particulada (Zhou, Wu, Kang, & Zhang, 2007).

Los metales asociados a la actividad antropogénica incluyen el cobre, cromo, plomo, cinc, cadmio y mercurio (Sange, Holland & Scott, 1999). Estos metales pesados se pueden hallar en el agua, pero en mayor concentración en los sedimentos en humedales (Khan & Brush, 1994). El depósito de metales pesados en los sedimentos puede causar la eventual contaminación de los acuíferos (Luczkiewicz, 2006). La contaminación de las aguas es un problema serio que debe atenderse, pues afectan la biodiversidad, la disponibilidad de agua potable y pueden afectar la salud humana (Samecka, Stepień, & Kempers, 2004). Además, se pueden acumular en la biomasa de las plantas (Orso, Simpson & Goog, 1992; Vymazal, 2005), y existen plantas capaces de bioacumular esos metales pesados en su tejido vegetativo (Chattopadhyay, Chatterjee & Mukhopadhyay, 2002). Estudios han demostrado que el efecto de la contaminación en un ecosistema, aporta a la reducción de la biodiversidad (Aksoy, Demirezen & Duman, 2005). El propósito de esta investigación fue determinar preliminarmente los riesgos potenciales a la salud que pudieran representar aquellos contaminantes que sobrepasen los estándares en los sedimentos de la ciénaga Las Cucharillas en Cataño. También determinamos la presencia de metales pesados en el material vegetativo de estas mismas áreas muestreadas.

Método

El estudio lo llevamos a cabo en la ciénaga Las Cucharillas, Cataño, en la colindancia de la carretera PR-165 por el norte; el complejo de viviendas Coquí I y II por el este; con la comunidad William Fuertes por el oeste; y con la comunidad Juana Matos por el lado sur. Llevamos a cabo el muestreo en diferentes puntos de la Ciénaga, tomando en cuenta las comunidades que se podrían ver afectadas, las cuales incluyen Juana Matos, Valparaíso, Cucharillas y Puente Blanco (Tabla 1).

Tomamos ocho muestras compuestas de sedimento durante septiembre de 2007 y octubre de 2007. En cada punto, seleccionamos un área de referencia y la identificamos. Medimos cuatro puntos a una distancia de 3.048 metros cada uno, del punto original y los marcamos. En cada punto, tomamos una muestra de sedimento bajo los siguientes procedimientos generales (Acevedo, Jimenez & Rodríguez, 2005). Utilizamos un barreno para tomar muestras de suelo, previamente lavado con agua destilada y seco. Sumergimos este instrumento a una profundidad de treinta centímetros. Colocamos las muestras de sedimento (compuesta) en un envase de

crystal de 250 ml con tapa plástica (HPDE). Los frascos se llenaron cuidadosamente hasta alcanzar un 90% de la totalidad del mismo. Homogenizamos la muestra y le removimos material vegetativo, como tallos y hojas. Los almacenamos en una hielera a una temperatura de 4°C. Completamos la hoja de datos del muestreo de campo y llenamos la cadena de custodia de las muestras. Enviamos las muestras al laboratorio de *EQ Lab* para su análisis. Para evitar la contaminación, limpiamos el equipo antes y después de tomar cada muestra.

Tabla 1

Puntos de muestreo en la ciénaga Las Cucharillas.

Puntos de muestreo	Latitud	Longitud
Punto 1	18°26'10.8N	66°07'99.6W
Punto 2	18°26'10.7N	66°07'99.0W
Punto 3	18°26'41.4N	66°08'95.3W
Punto 4	18°26'41.3N	66°08'94.3W
Punto 5	18°26'77.3N	66°09'16.2W
Punto 6	18°26'32.8N	66°09'09.8W
Punto 7	18°26'16.5N	66°08'75.9W
Punto 8	18°26'16.7N	66°08'70.0W

Los análisis incluyeron cadmio (Cd), plomo (Pb), cinc (Zn), hierro (Fe) y cobre (Cu), mediante el método EPA 6010B. Este método se utiliza para determinar metales y elementos traza en desperdicios sólidos, materiales sólidos y sedimentos, mediante el uso del instrumento *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry* (ICP-AES). Comparamos los resultados de las muestras, mediante el uso de las guías de metales en suelo (Tabla 2) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés).

También determinamos la presencia de metales pesados en material vegetativo utilizando el protocolo seguido por Díaz y Massol (2003). Tomamos un total de diez hojas de las plantas, localizadas sobre el sedimento muestreado. La vegetación que recolectamos para el análisis estaba compuesta por los géneros

Cyperus, *Wedelia trilobata*, *Paspalum milegrana*, *Typha domingensis*, *Brachiaria purpurascens* y *Laguncularia racemosa*. Lavamos las muestras con agua destilada y las colocamos en envases de cristal, identificados y refrigerados a 4°C siguiendo la cadena de custodio para ser enviados al laboratorio de análisis.

Para el análisis estadístico de resultados, utilizamos el programa MINITAB. Este programa nos ayudó a comparar los resultados de las muestras con las guías de metales en sedimentos de la EPA, mediante el uso de la estadística T, la cual se emplea en datos con desviación estándar desconocida. También correlacionamos los resultados de las muestras de sedimento y material vegetativo, usando la estadística T. Además, usamos regresión lineal para buscar el grado de asociación lineal entre dos variables (sedimento/material vegetativo).

Finalmente, evaluamos todos los resultados de los metales trazas obtenidas en las muestras de sedimento y de material vegetativo. Utilizamos las guías de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) para determinar contaminación en suelos. Utilizamos las guías de concentraciones de riesgo (RBC's, por sus siglas en inglés) y las guías de metas de remediación preliminar (PRG's, por sus siglas en inglés). Además utilizamos las guías de evaluación de calidad de los sedimentos (SQAG's, por sus siglas en inglés). Estas guías proveen las bases para evaluar los efectos potenciales de contaminantes en sedimentos. Las SQAG's establecen un parámetro mínimo *threshold effect levels* (TEL) para definir las concentraciones de metales en las que no se esperan ver efectos biológicos adversos y un parámetro máximo, *nivel de efecto probable* (PEL) en el cual se esperan observar efectos biológicos adversos. De este modo, identificamos las sustancias que tienen el potencial para causar daño a la salud humana e identificamos las poblaciones potenciales que están expuestas a estos riesgos.

Resultados y discusión

Sedimentos

Los valores obtenidos de las muestras de sedimento para cadmio y plomo estuvieron bajo los parámetros de las guías de EPA (Tabla 1). Los RBC's establecen como valor mínimo para la concentración de cadmio 39 mg/kg y los PRG's establecen 37 mg/kg, los cuales son valores más altos que cualquiera de los valores observados en las muestras de suelo. Para plomo, los RBC's no establecen valor mínimo, pero los PRG's establecen 400 mg/kg. Este valor también es más alto que cualquiera de los valores observados en las muestras de suelo. Los SQAG's para cadmio y

plomo establecen como TEL 0.68 mg/kg y el PEL en 4.21 mg/kg y TEL 30.2 mg/kg y el PEL en 112 mg/kg respectivamente. Encontramos que los valores del punto dos y el punto tres sobrepasan el valor del PEL en el caso de cadmio, lo cual puede ser responsable de efectos biológicos adversos y puede representar un peligro potencial para los organismos. Las concentraciones de los puntos 1, 4, 5, 6, 7 y 8, se encuentran entre el TEL y el PEL, lo que podría indicar que la concentración de cadmio en el lugar, tiene el potencial de producir efectos biológicos adversos, cuando los organismos se expongan a los mismos. Por el contrario, el plomo no sobrepasó el TEL, lo que es indicativo que las concentraciones de plomo se encuentran en valores aceptables y que hay probabilidades mínimas, de que se produzcan efectos biológicos adversos en los organismos.

Tabla 2

Comparación de análisis de metales pesados con las guías de metales pesados en suelo de la EPA.

Referencia/ Muestreo	cadmio (mg/ kg)	plomo (mg/ kg)	cinc (mg/ kg)	hierro (mg/ kg)	cobre (mg/ kg)
Region III ¹	39	n/a	2300	23000	3100
Region 9 ²	37	400	2300	23000	3100
Punto 1	1.46	9.01	136	9703	63.4
Punto 2	20.9	19.5	87.3	20147	140
Punto 3	12.5	5.35	73.3	22646	105
Punto 4	2.60	26.0	159	2992	58.6
Punto 5	2.54	13.4	107	2909	52.6
Punto 6	1.66	4.71	43.4	2838	31.9
Punto 7	2.38	24.3	68.4	3013	155
Punto 8	0.82	3.24	28.3	1886	29.4

¹ *Risk Based Concentrations (RBC's) Residential Soil.*

² *Preliminary Remediation Goals (PRG's) Residential Soil.*

Por otro lado, los valores obtenidos de las muestras de sedimento para analizar cinc están bajo los parámetros de las guías de EPA (Tabla 1). Los RBC's y los PRG's establecen 2300 mg/kg cada uno. Este valor es más alto que cualquiera de los valores observados en las concentraciones de cinc, en las muestras de suelo. Los SQAG's establecen como TEL 124 mg/kg y el PEL en 271 mg/kg. Los puntos de muestreo 1 y 4, sobrepasaron el TEL, lo que tiende a indicar el cinc en esos puntos, puede ser

responsable de efectos biológicos adversos. Los demás puntos no sobrepasaron el TEL, lo que es indicativo que las concentraciones de cinc se encuentran en valores aceptables y que hay probabilidades mínimas, de que se produzcan efectos biológicos adversos en los organismos. De igual forma, el hierro en la muestras de suelo están bajo los parámetros de las guías de EPA, aunque el valor en el punto de control refleja estar cerca del parámetro mínimo. Mientras tanto, el cobre en las muestras analizadas posee valores de RBC's y los PRG's de 3100 mg/kg cada uno y este valor es más alto que cualquiera de los valores observados.

Por su parte, los SQAG's establecen como TEL 18.7 mg/kg y el PEL en 108 mg/kg y todos los puntos de muestreo sobrepasaron el TEL, lo que podría indicar que la concentración de cobre en el lugar tiene el potencial de producir efectos biológicos adversos, cuando los organismos se expongan a los mismos. En los puntos 2 y 7, se sobrepasó el PEL, lo que podría indicar un potencial peligro de que el cobre pueda causar efectos adversos a los organismos expuestos.

Material vegetativo

Utilizamos los datos obtenidos para determinar si existía una relación entre las concentraciones de metales en sedimento y de las hojas, con el fin de poder establecer migración de contaminantes en la cadena alimentaria. Al realizar los cálculos estadísticos para determinar la presencia de cadmio, no pudimos establecer relación, ya que no obtuvimos datos para determinar migración. Una probable explicación es que la mayor acumulación de metales en las plantas ocurre en las raíces (Youngman, Williams, & Tien, 1998; Memon, Aktoprakligil, Ozdemir, & Vertii, 2000). Solamente las especies híper acumuladoras tienden a transferir los metales a través de la cadena alimentaria, por lo que el riesgo para los humanos es relativamente bajo (USEPA, 2007). Los géneros *Cyperus*, *Wedelia trilobata*, *Paspalum milegrana*, *Typha domingensis*, *Brachiaria purpurascens* y *Laguncularia racemosa* son sensitivas a metales, los cuales le reducen la disponibilidad de alimentos (USEPA, 2007). Otra posible explicación es que exista una alta concentración de algún elemento como el Calcio bivalente (Ca^{2+}), el cual compite con el cadmio que pueden acumular las plantas y no permiten migración en la cadena alimentaria (Larson, Lickens, Fitzpatrick, & Crock, 2000). Mientras para el plomo, pudimos demostrar que no hay una relación directa ya que el factor de correlación fue de 0.14. El movimiento de metales a través de la cadena alimentaria depende de varios factores entre los cuales están la biodisponibilidad, la bioaccesibilidad y la bioacumulación de los mismos (USEPA, 2007). Posiblemente el plomo no estaba disponible para interactuar con

las plantas, por lo que las mismas no lo pudieron absorber. Otra posible explicación es que en los humedales que contienen altas cantidades de materia orgánica, domina el reciclaje de metales y la acumulación en plantas pasa a un segundo plano (Debusk & Reddy, 1996).

Por otra parte, al realizar los cálculos estadísticos, pudimos demostrar que hay una relación directa entre hierro y cinc en sedimentos y en las hojas debido a que existe una buena relación lineal, al obtener un factor de correlación de 0.995 y 0.980, respectivamente (Figura 2). El comportamiento de los metales en suelo y la absorción por las plantas dependen de la naturaleza del metal (Kidd, Domínguez, Diez, & Monterroso 2007).

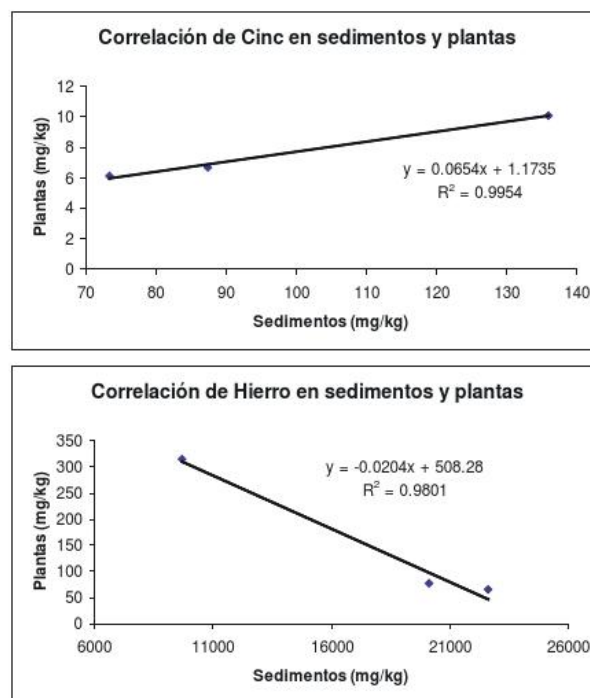


Figura 2. Correlación de la concentración de cinc e hierro en sedimentos y material vegetativo.

Las reacciones y procesos que ocurren entre el suelo y las plantas dependen de varios factores entre los cuales está la fitotoxicidad de algunos metales como el cinc (USEPA, 2007). El exceso de cinc resulta tóxico para las plantas, por lo que se queda en las raíces y no llega suficiente cantidad hasta las hojas (Memon et al., 2000). Aun así, las plantas necesitan el metal para sus procesos metabólicos y

adquieren lo necesario del suelo. Sin embargo, en los humedales es típico encontrar valores altos de hierro, debido a la materia orgánica en el suelo (Cravo & Bebianno, 2005). Los valores obtenidos para hierro son normales para el proceso metabólico de las plantas.

Finalmente, no existe una relación directa entre los valores de cobre en sedimentos y en las hojas. Esto se debe a una pobre relación lineal con un factor de correlación de 0.214. En los resultados, pudimos demostrar que las plantas no están absorbiendo el cobre, lo que tiende a indicar que el mismo no está en forma disponible para que las plantas lo puedan absorber.

Conclusiones

Los resultados demuestran que el cadmio y el cobre sobrepasaron los estándares máximos que recomiendan las guías de evaluación de calidad de los sedimentos (SQAG, por sus siglas en inglés). Estos contaminantes tienen el potencial de causar efectos biológicos adversos, que dependerán de varios factores. Existen muchos factores que determinan si la exposición a estos metales, pueden afectar la salud humana. Estos pueden incluir la dosis (cantidad), la duración (tiempo) y la manera en que el ser humano entra en contacto con la sustancia (ATSDR, 1990). También, debemos considerar otros factores como la dieta, el sexo, los estilos de vida y las condiciones de salud. Identificamos las poblaciones susceptibles que se podrían afectar, al exponerse a estos contaminantes que sobrepasaron los límites permitidos. El municipio de Cataño posee un 17% de población infantil, un 21.8% de personas de edad avanzada y un 37% de mujeres en edad reproductiva. Estas poblaciones son las más susceptibles a la exposición por cadmio y cobre, vía ingestión. La población más afectada podrían ser los residentes de la comunidad Cucharillas, ya que poseen tres puntos donde sobrepasaron los límites: Punto 3 sobrepasó el PEL en las concentraciones de cadmio y cobre; en el Punto 6, las concentraciones de cadmio y cobre sobrepasaron el TEL. En el Punto 7, las concentraciones de cadmio sobrepasaron el TEL y las concentraciones de cobre el PEL. Aunque la ciénaga Las Cucharillas no presenta altos niveles de contaminación por metales pesados, es importante se continúen monitoreando en estudios posteriores. Este estudio es de carácter preliminar, por lo que esperamos que sirva de inspiración a otros a realizar investigaciones más profundas sobre el particular.

Literatura citada

- Acevedo, D., Jimenez, B. & Rodríguez, C. (2005). Trace metals in sediments of two estuarine lagoons from Puerto Rico. *Environmental Pollution*, 141, 336-342.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR] (1990). *Toxicological profile for copper*. Department of Health and Human Services, Public Health Service, USA.
- Aksoy, A., Demirezen, D. & Duman, F. (2005). Bioaccumulation, detection and analyses of heavy metal pollution in Sultan marsh and its environment. *Water, Air, Soil Pollution*, 164 (1-4), 241-225.
- Chattopadhyay, B., Chatterjee, A. & Mukhopadhyay, S. (2002). Bioaccumulation of metals in the east Calcutta wetland ecosystem. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 5 (2), 191-203.
- Cravo, A. & Bebianno, M. (2005). Bioaccumulation of metals in the soft tissue of *Patella aspera*: Application of metal/shell weight indices. *Estuarine Coastal & Shelf Science*, 65 (3), 571-586.
- Debusk, W. & Reddy, K. (2005). Litter decomposition and nutrient dynamics in a phosphorous enriched Everglades marsh. *Biogeochemistry*, 75 (2), 217-240.
- Diaz, E. & Massol-Deya, A. (2003). Trace element composition in forage samples from a military target range, three agricultural areas, and one natural area in Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*, 39 (2), 215-220.
- Kidd, P. S., Domínguez-Rodríguez, M. J., Díez, J. & Monterroso, C. (2007). Bioavailability and plant accumulation of heavy metals and phosphorus in agricultural soils amended by long-term application of sewage sludge. *Chemosphere*. 66: 1458-1467.
- Khan, H. & Brush G. (1994). Nutrient and metal accumulation in a freshwater tidal marsh. *Estuarine*, 17 (2), 345-360.

- Larson, J., Lickens, G., Fitzpatrick, J. & Crock, J. (2000). Cadmium toxicity among wildlife in the Colorado rocky mountains. *Nature*, 406, 181-183.
- Luczkiewicz, A. (2006). Soil and groundwater contamination as a result of sewage sludge land application. *Polish Journal of Environmental Studies*, 15 (6), 869-876.
- Matteucci, G., Rossini, P., Guerzoni, S., Arcangeli, A., Fonti, P., Langone, L. & Miserochi, S. (2005). Recent evolution of sedimentary heavy metals in a coastal lagoon contaminated by industrial wastewaters (Pialassa Baiona, Ravenna, Italy). *Hydrobiologia*, 550 (1-3), 167-173.
- Memon, A., Aktoprakligil, D., Ozdemir, A. & Vertii, A. (2000). Heavy metal accumulation and detoxification mechanisms in plants. *Turkey Journal Botany*, 25, 111-121.
- Orson, R., Simpson, R. & Goog, R. (1992). A mechanism for the accumulation and retention of heavy metals in tidal freshwater marshes of the upper Delaware River estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science ECSSD3*, 34 (2), 171-186.
- Ruiz, C. (1999). Ciénaga Las Cucharillas. *Eco-Isla*, Recuperado de www.ceducapr.com
- Samecka - Cymerman, A., Stepien, D. & Kempers, A. (2004). Efficiency in removing pollutants by constructed wetland purification systems in Poland. *Journal of Toxicology & Environmental Health*, 67 (4), 265-275.
- Sanger, D., Holland, A. & Scott, G. (1999). Tidal creek and salt marsh sediments in South Carolina coastal estuaries: I. distribution of trace metals. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 37 (4), 445-457.
- US Environmental Protection Agency (2007). Marshes. *Wetlands, Oceans and Watersheds*. Recuperado de <http://water.epa.gov/type/wetlands/marsh.cfm>
- Vymazal, J. (2005). Removal of heavy metals in a horizontal sub-surface flow constructed wetland. *Journal of Environmental Science & Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, 40 (6/7), 1369-1379.

- Youngman, A., Williams, T. & Tien, L. (1998). Patterns of accumulation of heavy metals in non-woody vegetation established on zinc – lead smelter contaminated soils. In L. E. Erickson (Chair), *Proceedings of the 1998 Conference on Hazardous Waste Research*. Great Plains/Rocky Mountain Hazardous Substance Research Center, Snowbird, Utah.
- Zhou, J., Wu, Y., Kang, Q. & Zhang, J. (2007). Spatial variations of carbon, nitrogen, phosphorous and sulfur in the salt marsh sediments of the Yangtze Estuary in China. *Estuarine Coastal & Shelf Science*, 71 (1/2), 47-59.

PRESENCIA DE METALES PESADOS EN EL ÁREA URBANA ASOCIADA A LA RESERVA NATURAL CIÉNAGA LAS CUCHARILLAS

Lourdes M. Febres Miranda, MSEM¹ & Carlos Morales Agrinzoni, MSEM¹¹

Abstract – We present the findings from preliminary studies made by students from the environmental education project called Puerto Rico Geomodel. Students from two public schools of Cataño: Onofre Caballeira Umpierre (middle school) and Francisco Oller (high school) participated in this community research experience during August through December 2011. There is a concern and interest on the impact of the industrial and urban development around Las Cucharillas Marsh Nature Reserve and the surrounding communities. With this justification, the students decided to investigate the quality of the soil, sediments, and water in four different sites: Juana Matos and Puente Blanco communities, La Malaria creek and two mitigation sites near the old Bayamón river delta. The purpose was to determine the presence of heavy metals and the importance of wetlands for the treatment of these pollutants. All samples were analyzed using the EPA7471B method to determine the presence of mercury (Hg), and the EPA6010C method for other heavy metals. The results showed higher concentrations for sulfur (S) copper (Cu), and zinc (Zn) in sediments and soil samples from Juana Matos, Puente Blanco, La Malaria creek and the mitigation sites in the old delta of Bayamon river. Concentrations of Hg, C, Pb, Zn and S were detected also in the water samples of La Malaria creek. Previous research suggests that those heavy metals are associated with urban surface dust as result of human activities. A more comprehensive study is needed to determine the origin of these two metals and their impact on the environment and the human health.

Palabras clave: ciénaga, educación ambiental, contaminación y metales pesados.

Introducción

Este estudio presenta los resultados obtenidos en varios ensayos exploratorios realizados en el proyecto de educación ambiental *Puerto Rico Geomodel* de la Escuela de Asuntos Ambientales de la Universidad Metropolitana con estudiantes de las escuelas Onofre Caballeira Umpierre (Intermedia) y la Francisco Oller (Superior)

¹ Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, PO Box 21150, San Juan, PR 00928, 787-766-1717; lourdes13feb@gmail.com

en Cataño. Estos proyectos de educación ambiental tenían el propósito de proveerles a los estudiantes las experiencias de investigación en el campo como herramienta en el proceso educativo. Esta estrategia educativa es parte de los fundamentos establecidos en la Carta de Belgrado, adoptada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en un seminario celebrado en Yugoslavia en 1975 (Simmons et al., 2009). Los educandos deben participar activamente, pues se pretende que el aprendizaje se extienda más allá del contexto escolar y se convierta en una parte natural y significativa en sus vidas. Las técnicas de enseñanza deben responder a sus intereses, y ellos, a su vez, deben involucrarse activamente en el proceso de construcción de sus conocimientos y en el despliegue de habilidades.

Con la inquietud y el interés de saber el impacto que ha tenido el desarrollo industrial y urbano alrededor de la Reserva Natural Ciénaga Las Cucharillas y las comunidades aledañas a este ecosistema, los estudiantes decidieron investigar la calidad de los suelos con el propósito de determinar la presencia de metales pesados en esta zona y la importancia de los humedales para el manejo de estos contaminantes. Esta preocupación surge debido a que gran parte de la extensión territorial del municipio de Cataño está ocupada por desarrollos industriales entre los que se destacan refinerías, almacenes, destilerías, distribuidoras de alimento y termoeléctricas (Junta de Planificación, 2008).

Los metales pesados son parte fundamental de las fuentes antropogénicas provenientes de desechos domésticos, agrícolas e industriales, los cuales son peligrosos para el ecosistema y la salud humana. En zonas de alto desarrollo industrial y densidad poblacional, los metales pesados forman parte del polvo superficial urbano que no se queda en la superficie por mucho tiempo (Zhang, Cui & Fan, 2012). Con el viento y las actividades humanas, gran parte de este polvo se dispersa en la atmósfera, y el resto es lavado como consecuencia de la lluvia, transportando estos metales a través de las escorrentías que llegan a los cuerpos de agua (Ferreira-Baptista & Miguel, 2005). Bajo este escenario, los sedimentos actúan como recursos secundarios de contaminación en el medio ambiente (Rubio et al., 1996). Las trazas de metales presentan concentraciones relativamente elevadas en los sedimentos superficiales de las zonas costeras alteradas por el hombre y guardan una relación de su concentración con el tamaño de las partículas y la cantidad de materia orgánica sedimentarias, alterando el equilibrio ecológico y biogeoquímico del ecosistema (Sadiq, 1992).

Método

Esta investigación la llevamos a cabo durante agosto a diciembre del 2011. Seleccionamos dos comunidades aledañas a la Reserva Natural Ciénaga Las Cucharillas, uno de los cuerpos de agua que nutren los humedales de la zona y dos áreas de humedal mitigadas. Las dos comunidades fueron Juana Matos y Puente Blanco. El cuerpo de agua fue el caño la Malaria y las dos áreas mitigadas fueron los dos proyectos de restauración realizados en el antiguo cauce del río Bayamón (Figura 1).



Figura 1. Áreas de muestreo en el área urbana aledaña a la Reserva Natural Ciénaga Las Cucharillas.

Las comunidades de Juana Matos y Puente Blanco pertenecen al programa de Comunidades Especiales del gobierno de Puerto Rico. Ambas comunidades son el resultado de procesos de invasión de terrenos que han ocurrido a lo largo del tiempo. Según el censo realizado por la Oficina de Comunidades Especiales en el 2003, Juana Matos tenía un total de 613 residencias y Puente Blanco un total de 432 residencias. Ambas comunidades carecen de infraestructura sanitaria y pluvial, además de confrontar serios problemas de inundaciones y manejo de desperdicios sólidos.

El caño La Malaria, el principal cuerpo de agua que nutre los humedales de la ciénaga Las Cucharillas, fue construido en la década de 1960 por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos como una medida de control y prevención de la malaria en el fuerte Buchanan (Junta de Planificación, 2008). El

propósito de este canal era recoger las aguas del canal San Fernando, y descargarlas directamente a la Bahía, para de este modo secar los humedales al norte de Buchanan y así evitar la propagación de los mosquitos. Actualmente, el caño La Malaria recoge todas las aguas de escorrentías de las zonas urbanas y los parques industriales de la zona, y descarga mediante un sistema de compuertas y bombeo en la bahía de San Juan.

El antiguo cauce del río Bayamón contiene los remantes de humedal que quedaron luego del proyecto de desvío y canalización del río Bayamón. Mediante el desarrollo de varios proyectos de mitigación en el área, se ha logrado restaurar 5 acres de humedal mediante la reforestación con especies típicas de humedal como *Pterocarpus officinalis*, *Rhizophora mangle*, *Annona glabra*, *Languncularia racemosa*, *Thespesia populnea* y *Manilkara bidentata* (Reforesta, 2008; Ambienta, 2007; Reforesta, 2012).

Muestreo

En cada una de las comunidades, establecimos tres puntos de muestreo y un punto de muestreo en cada una de las áreas mitigadas, en los que colectamos muestras de suelo y sedimento. En el caso del caño La Malaria, además de las tres muestras de sedimento, recolectamos tres muestras de agua. Geo-referenciamos cada uno de los puntos de muestreo con el propósito de crear un mapa de la zona de estudio en ArcGIS 2500.

Las muestras de sedimentos las tomamos utilizando un barrenador de sedimento o terreno y las colocamos en bolsas plásticas selladas al vacío. Mientras que las muestras de agua las colocamos en envases de cristal previamente esterilizados. Todas las muestras fueron llevadas a un laboratorio privado para detectar la presencia y concentraciones de metales pesados. Para detectar mercurio, utilizamos el método EPA7471B, y para el resto de los metales pesados utilizamos el método EPA6010C, según los métodos aprobados por la EPA. Llevamos a cabo los análisis estadísticos descriptivos correspondientes. Enriquecimos el análisis de los resultados mediante el uso de referencias y estudios en áreas similares para comparar y determinar si las concentraciones de los metales pesados en los suelos, sedimentos y agua son similares a otras áreas.

Resultados y discusión

Los resultados de las muestras de suelo y sedimentos de las cuatro áreas de estudio detectaron la presencia de mercurio (Hg), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre

(Cu), plomo (Pb), azufre (S) y cinc (Zn) (Tabla 1). Así también, las muestras de agua del caño La Malaria reflejaron la presencia de mercurio (Hg), cobre (Cu), plomo (Pb), cinc (Zn) y azufre (S) (Tabla 2). Estudios similares demuestran que estos metales pesados pueden ser arrastrados por las escorrentías de lluvia provenientes de varias fuentes dispersas alrededor de las áreas de estudio (Makacepeace, Smith, & Stanley, 1995; Sriyaraj & Shutes, 2001). Gran parte de estos metales pesados que son depositados en el suelo y suspendidos en los cuerpos de agua provienen de la acumulación de material particulado. Este material es producto de las dinámicas atmosféricas y actividades humanas incluyendo polvo suspendido en las carreteras, emisiones de vehículos, descargas industriales, sistemas de calefacción, proyectos de construcción, el deterioro de edificios, emisiones de termoeléctricas y refinerías, así como otras actividades antropogénicas (Al-kashman, 2004; Faiz, Tufail, Javed, Chaudhry, & Naila-Siddique, 2009; Mulligan, Davapanah, Fukue, & Inoue, 2009; Apegyei, Bank, & Spengler, 2011; Khairy, Barakat, Mostafa, & Wade, 2011).

Los contaminantes llegan a los humedales a través de los efluentes industriales y domésticos, las aguas de escorrentías que se producen en los períodos de lluvia y el tráfico marítimo de diferentes tipos de embarcaciones (Martínez & Senior, 2001; Martínez, Alvarado, & Senior, 2001). Martínez et al. (2001) encontraron que las concentraciones de Cd, Zn, Cu, Cr, Ni y Pb en los sedimentos superficiales del golfo de Cariaco, están asociadas directamente con la textura del grano sedimentario, en mayor concentración en los sedimentos más finos.

Tabla 1

Concentraciones (mg/kg) de metales pesados en muestras de sedimentos en las áreas de estudio.

Metales Pesados	Juana Matos			Puente Blanco			Caño La Malaria			Mitigaciones	
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 1	Punto 2
Hg	0.0915	0.11	0.0207	0.257	0.0448	0.0624	0.112	0.201	0.0783	0.0388	0.0503
As	2.2	1.1	4.9	8.2	5.2	3.2	5.9	21.9	8.9	2	1.3
Ca	0.61	0.21	0.13	0.45	0.11	0.36	0.22	0.45	0.13	0.07	0.12
Cu	152	68.7	46.8	54.6	57	65.3	31.9	50	45	29.3	27.7
Pb	61	23.2	22	49.7	19.4	24	24	65.1	13.4	77.6	21
S	425	262	155	959	269	647	792	831	5250	214	205
Zn	648	97.5	66.3	183	60.6	189	114	164	73.8	36.7	40.9

Tabla 2

Concentración (ml/L) de metales pesados en muestras de agua del caño La Malaria

Metales pesados	Bay View (Punto 1)	Puente Blanco (Punto 2)	Nacimiento del Caño (Punto3)	Promedio
Hg	ND	ND	0.217	0.217
As	ND	ND	ND	ND
Ca	ND	ND	ND	ND
Cu	18.2	ND	ND	18.2
Pb	9.9	ND	ND	9.9
Se	ND	ND	ND	ND
S	5900	6020	6500	6140
Zn	81	22.2	18.1	40.43

Otros estudios realizados en la cuenca Tuy-Cariaco (Gamboa & Bonilla, 1983) y la costa del estado Anzoátegui (Gamboa, Bonilla, & Cedeño, 1986; Bonilla, 1993; y Fermín & Bonilla, 1996) mostraron una dependencia entre los niveles de algunos metales pesados en sedimentos y sus características granulométricas, así como en su contenido en materia orgánica. Campbell y Loring (1980) y Perkins, Gilchrist, Abbot y Halcrow (1973) reportaron un incremento en las concentraciones de metales pesados asociados con la fracción de grano fino, mientras que Jackson (1979) encontró que el Fe, Zn, Cd y Cu están relacionados con el carbono orgánico. Igualmente, se señala en estos trabajos la influencia antropogénica en las concentraciones de estos metales como consecuencia del vertido de los efluentes industriales y urbanos de las ciudades, poblados y complejos industriales allí establecidos.

Comunidad Juana Matos y Puente Blanco

Los resultados demostraron que el Punto 1 de la comunidad de Juana Matos resultó tener mayores concentraciones de Cd, Cu, Pb, S y Zn (Tabla 1 y Figura 2) en comparación con los demás puntos de muestro en la comunidad. El Zn resultó tener una concentración de 6 a 9 veces más alta que en los demás puntos de muestreo.

Las muestras en la comunidad Puente Blanco demostraron mayores concentraciones de Hg, As, Cd, Pb y S en el Punto 1 (Tabla 1 y Figura 3). El S mostró ser el metal pesado de mayor concentración en los tres puntos de muestreo, seguido por el Zn, Cu, Pb.

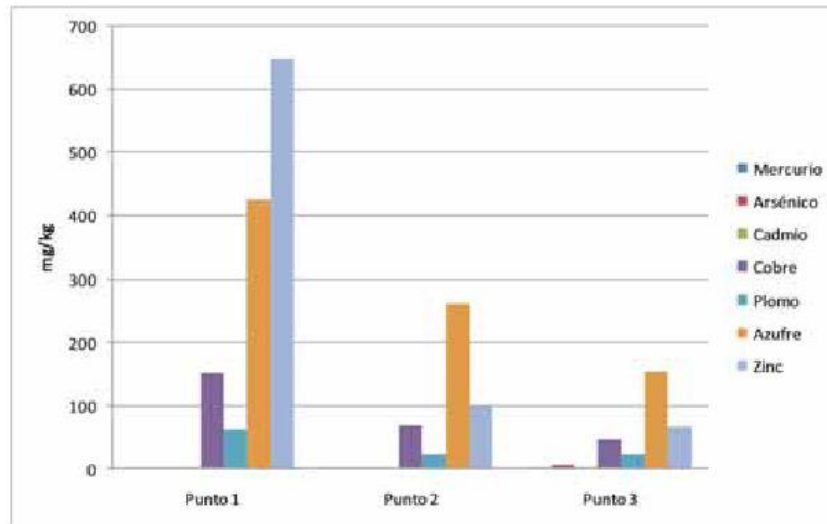


Figura 2. Concentraciones de metales pesados (mg/kg) en los tres puntos de muestreos en la comunidad de Juana Matos.

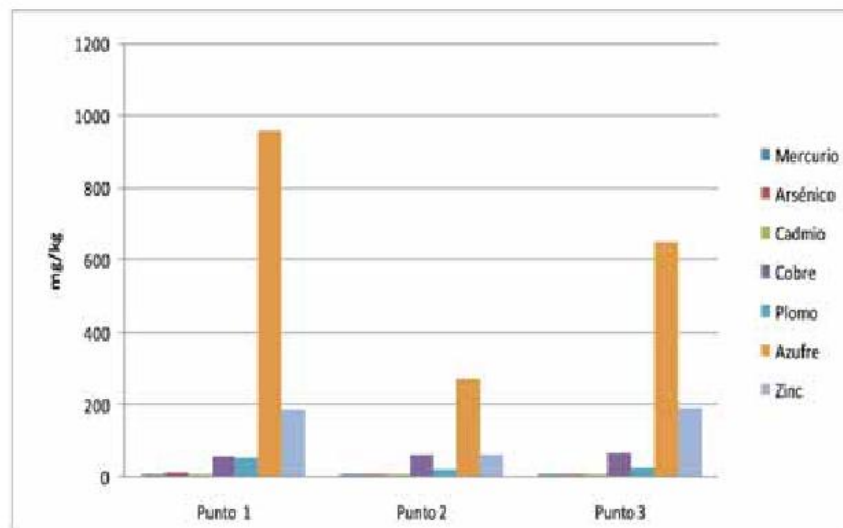


Figura 3. Concentraciones (mg/kg) de metales pesados en los tres puntos de muestreos en la comunidad de Puente Blanco.

Al comparar el promedio de concentraciones entre las dos comunidades, Juana Matos y Puente Blanco, observamos que Puente Blanco tiene una alta concentración de S en comparación con Juan Matos (Figura 4). Ambas comunidades reflejan concentraciones similares de Pb y Cu.

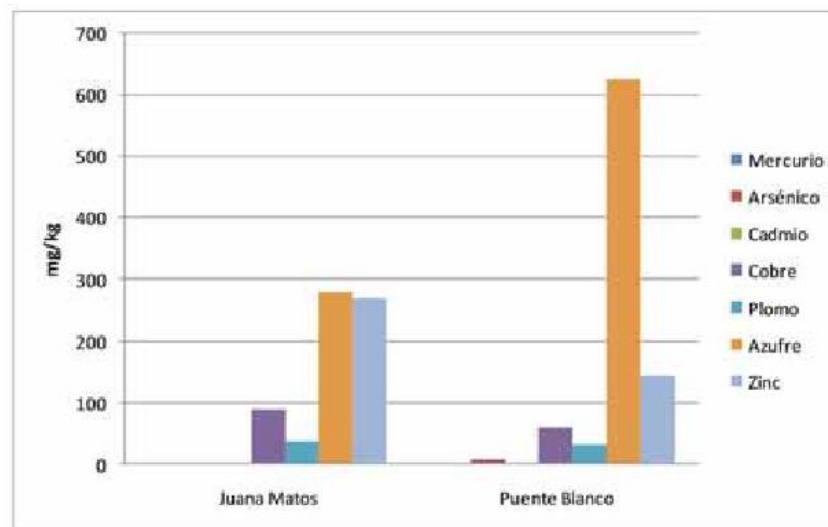


Figura 4. Promedio de concentraciones (mg/kg) de metales pesados en las comunidades de Juana Matos y Puente Blanco.

Muestras de sedimento y agua en caño La Malaria

Los resultados para azufre reflejan un gradiente de concentración en el sedimento del caño La Malaria, con mayor concentración en el nacimiento del caño en el Punto 1 hasta el Punto 3 en la desembocadura Bay View (Figura 5). Sin embargo, el Pb y Cu aumentan sus concentraciones a medida que se acercan a la desembocadura del caño (Punto 3 y 4). La presencia de S, Pb y Cu está íntimamente relacionada con las actividades industriales como las refinerías de petróleo. La sedimentación de las partículas suspendidas en el agua están influenciadas por el tamaño de las partículas, el régimen hidrológico, el flujo y la velocidad del agua, y el tiempo de residencia (Reinelt & Horner, 1995).

En cuanto a las muestras de agua en el caño La Malaria, se detectaron concentraciones de Hg, Cu, Pb, S, y Zn (Tabla 2). El Hg se detectó solo en el nacimiento del caño (Punto 1), mientras que el Cu y Pb se detectaron en la desembocadura del caño (Punto 3) (Figura 6). Al igual que los resultados de las muestras de sedimento, el azufre disminuyó a medida que se acercaba a la desembocadura del Caño. La concentración de Zn aumentó a medida que se acercaba a la desembocadura del Caño (Figura 6).

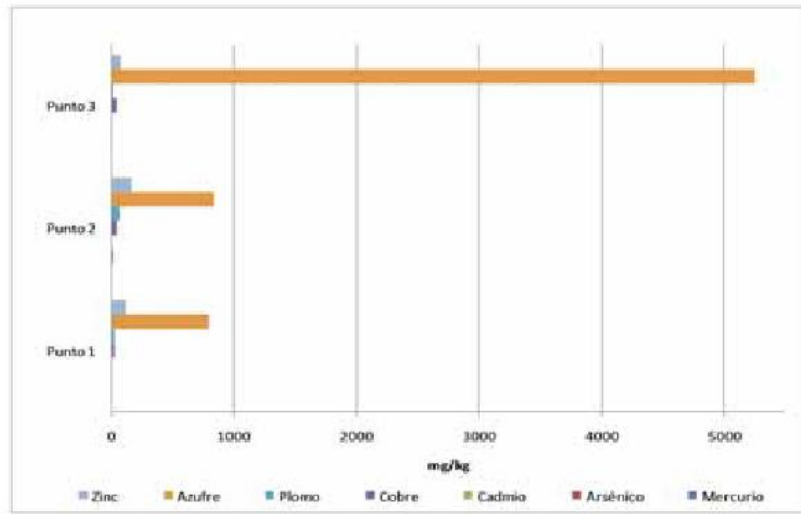


Figura 5. Concentraciones (mg/kg) de metales pesados en los sedimentos del caño La Malaria

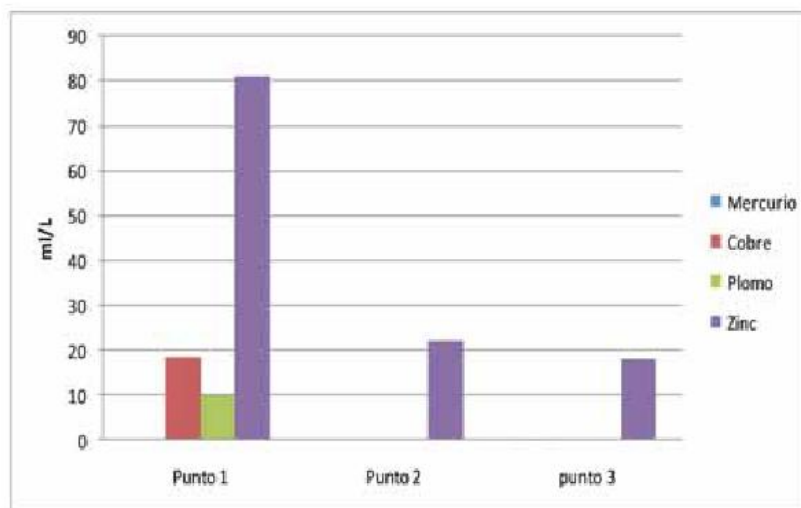


Figura 6. Concentraciones (ml/L) de metales pesados en muestras de agua del caño La Malaria

Áreas mitigadas

Las muestras de sedimentos en las dos áreas mitigadas en el antiguo cauce del río Bayamón, demostraron que tienen altas concentraciones de azufre (Figura 7). El Punto 1 del área mitigada tiene una mayor concentración de metales pesados

en comparación con el Punto 2 del área mitigada. La fuente de estos metales pesados puede ser el resultado de las descargas de aguas residuales de los parques industriales que rodean la zona, así como la mala disposición de pinturas, aceites y otros derivados.

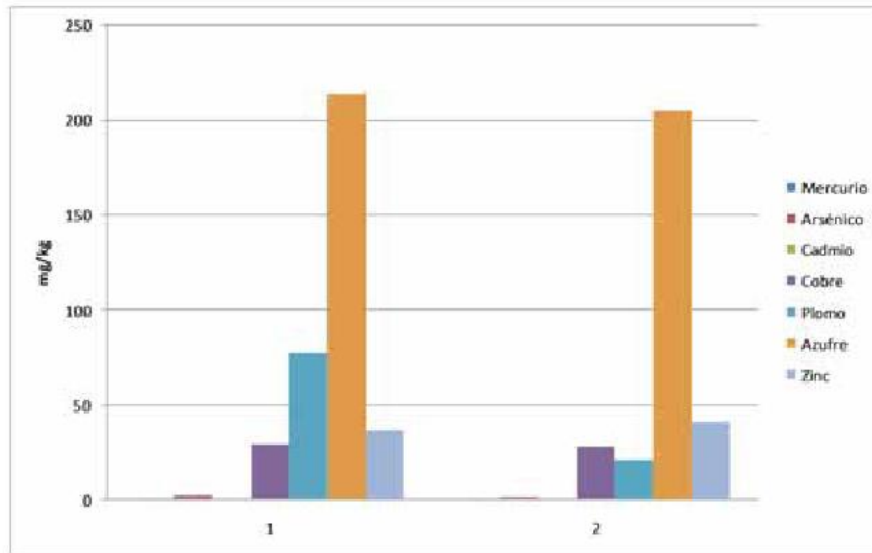


Figura 7. Concentraciones (mg/kg) de metales pesados en las áreas mitigadas.

Conclusiones y recomendaciones

De forma indirecta, las actividades industriales contribuyen con el aumento en los niveles de metales en el medio ambiente, por su producción a partir de otras especies químicas. Las altas concentraciones de los metales en el medio acuático y sus componentes (agua, sedimentos, flora y fauna, entre otros) son provocadas principalmente por actividades antropogénicas directas o indirectas (Morales, 2001).

En este estudio exploratorio, determinamos que en el caso de las áreas urbanas asociadas a la Reserva Natural Ciénaga Las Cucharillas en Cataño, las actividades industriales han provocado la presencia de concentraciones de mercurio (Hg), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), plomo (Pb), azufre (S) y cinc (Zn) en los suelos urbanos de la comunidad de Juana Matos, Puente Blancos y en las áreas mitigadas asociados a la antigua desembocadura del río Bayamón. El S y Zn fueron los metales pesados de mayor concentración en todas las áreas de muestreo, por lo que recomendamos un estudio más exhaustivo para determinar la procedencia de estos dos metales y su efecto en el medio ambiente incluyendo la salud humana.

Una de las aportaciones más significativas de este estudio es la incursión de estudiantes de la escuela intermedia y superior en el muestreo y análisis de calidad de agua, suelo y sedimento. En la actualidad, no existe en el currículo escolar del sistema de educación pública del Departamento de Educación de Puerto Rico, un programa educativo dirigido a educar y promover la conservación de nuestros recursos naturales y que a la misma vez el estudiantado pueda tener un laboratorio práctico fuera del aula escolar. Las limitaciones están relacionadas al tiempo estipulado para el proceso de enseñanza, y el desconocimiento práctico de los estudiantes en cuanto al manejo de equipo. Se recomienda que en futuras investigaciones, el investigador principal y el estudiantado tengan mayor intervalo de tiempo para mejorar las técnicas de campo. Este estudio contribuyó a desarrollar destrezas en los estudiantes que no aborda el currículo escolar. La educación ambiental se práctica dentro y fuera del salón de clase.

Agradecimientos

A los estudiantes participantes de la Escuela Intermedia Onofre Carballeira del municipio de Cataño y la Escuela Superior Francisco Oller. Ellos son: Nahara Nieves, Stephanie Rivera, Albelys Santiago, Milaishaka León y Taneiska Oquendo (Intermedia); y Pablo A. Ortiz, Marisol Carrasquillo, Adrián Rondón, Keyla M. Reyes, Christian Eaton y Deborah Acosta (Superior). A la maestra de ciencias ambientales, la Sra. Nilsa Colón, por su dedicación y ayuda en el proyecto de *Puerto Rico Geomodel*. Al planificador Miguel Martínez por su aportación y ayuda con los mapas en Sistemas de Información Geográfica (GIS); a la Prof. María Calixta Ortiz por su gran aportación y ayuda en la dirección de este estudio, y a el Sr. Eduardo Dávila por la ayuda en la creación de gráficas.

Literatura citada

- Acosta, V., Lodeiros, C., Senior, W., & Martínez, G. (2002). Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Caracas, Venezuela. *Interciencia versión impresa* ISSN 0378-1844. INCIv.27n.12
- Al-Khashman, O. A. (2004). Heavy metals distribution in dust, street dust, and soils from the work place in Karak Industrial Estate, Jordan. *Atmospheric Environment*, 38(39); 6803-6812.
- Ambienta. (2007). *1st annual wetland mitigation monitoring report*. Submitted to US. Army Corps of Engineers Antilles Regulatory Section.
- Apeagyei, E., Bank, M. S., & Spengler, J. D. (2011). Distribution of heavy metals in road dust along an urban-rural gradient in Massachusetts. *Atmospheric Environment*, 45(13), 2310-2323.
- Bonilla, R. J. (1993). *Características hidrogeoquímicas: Comportamiento y significado de modelos estadísticos multivariantes en el Bioecosistema Marino Costero de José, Edo. Anzoátegui, Venezuela*. Trabajo de Ascenso Prof. Titular. Inst. Oceangr. de Venez. Univ. Oriente: 231 p.
- Campbell, J. A., & Loring, D. H. (1980). Baseline levels of heavy metals in the waters and sediments of Baffin Bay. *Marine Pollution Bulletin* 11(9), 257-261.
- Gamboa, B. R., & Bonilla, J. R. (1983). Distribución de metales pesados (Fe, Mn, Cu y Zn) en Sedimentos Superficiales de la Cuenca Tuy-Cariaco. *Boletín Institucional Oceanografía. Universidad de Oriente*, 22(1-2), 103-110.
- Gamboa, J. R. Bonilla, J. R., & Cedeño, G. (1986). Concentración de algunos metales pesados en sedimentos superficiales de la bahía de Pozuelos y áreas adyacentes, Edo. Anzoátegui, Venezuela. *Boletín Institucional Oceanografía. Universidad de Oriente*, 25(1-2), 233-240.

- Jackson, T. A. (1979). Sources of heavy metals contamination in a River-Lakes System. *Environmental Pollution* (18), 131-138.
- Junta de Planificación. (2008). *Reglamento de Planificación Especial y Reserva Natural Ciénaga Las Cucharillas*. Boletín administrativo Núm. OE-2008-68.
- Khairy, M.A., Barakat, A. O., Mostafa, A. R., & Wade, T.L. (2011). Multielement determination by flame atomic absorption of road dust sample in Delta Region, Egypt. *Microchemical Journal*, 97(2), 234-242.
- Faiz, Y., Tufail, M., Javed, M. T, Chaudhry, M. M., & Naila-Siddique, S. (2009). Road dust pollution of Cd, Cu, Ni, Pb, and Zn along Islamabad Expressway, Pakistan. *Microchemistry Journal*, 92(2), 186-192.
- Ferreira-Baptista, L., & Miguel, E. (2005). Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: a tropical urban environment. *Atmospheric Environment*, 39(25), 4501-4512.
- Makacepeace, D. K, Smith D. W., & Stanley, S.J. (1995). Urban storm quality: Summary of contaminant data. Critical Review. *Environmental Science Technology*, 25(2), 93-139.
- Martínez, G., & Senior, W. (2001). Especiación de metales pesados (Cd, Zn, Cu y Cr) en el material en suspensión de la pluma del río Manzanares, Edo. Sucre, Venezuela. *Interciencia*, 26(2), 1-10.
- Martínez, G., Alvarado, J., & Senior, W. (2001). Estudio físico-químico de las aguas superficiales de la cuenca baja y pluma del río Manzanares. *Interciencia*, 26(8), 342-351.
- Martínez, G. (2002). Metales pesados en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín Institucional Oceanografía Venezuela*, Univ. Oriente 41(1 & 2), 83-96.
- Mulligan, C. N, Davapanah, N., Fukue, M., & Inoue, T. (2009). Filtration of contaminated suspended solids for the treatment of surface water. *Chemosphere Journal*, 74(6), 779-786.

- Perkins, E. J., Gilchrist, J.R., Abbot, O. J., & Halcrow, W. (1973). Trace metals in soil way fifth sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 4(4), 59-61.
- Programa de Comunidades Especiales (2004). *Perfil socioeconómico de las comunidades especiales*. Oficina del Gobernador, Estado Libre Asociado de Puerto Rico. Programa de Comunidades Especiales.
- Reforesta. (2008). *1st Annual wetland mitigation monitoring report*. Submitted to US. Army Corps of Engineers Antilles Regulatory Section.
- Reforesta. (2012). Compensatory mitigation post construction Assessment for Maderas 3C Warehouse Expansion. p.1-2.
- Reinertl, L.E., & Horner, R. R. (1995). Pollutant removal from storm water runoff by palustrine wetlands based on comprehensive budgets. *Ecological Engineering*, 4(2), 77-97.
- Rubio, B., Gago, L., Vilas, F., Nombela, M., Garcia-Gil, S., Alejo, I., & Pazos, O. (1996). Interpretación de tendencias históricas de contaminación por metales pesados en testigos de sedimentos de la Ría de Pontevedra. *Thalassas*, 12, 137-152.
- Sadiq, M. (1992). *Toxic metal chemistry in marine environments*. New York: Marcel Dekker. 390 pp.
- Simmons, B., McCrea, Ed., Shotkin, A., Burnett, D., McGlauffin, K., Osorio, R., Weiser, B. (2009). Guía para elaborar programas de educación ambiental no formal. Recuperado de: <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/publicaciones/Publicaciones/Guia%20par%20elaborar%20programas%20de%20educaci%C3%B3n%20ambiental%20no%20formal.pdf>
- Sriyaraj, K., & Shutes, R.B. (2001). An assessment of the impact of motorway runoff on a pond, wetland and stream. *Environmental International*, 26(5-6), 433-439.
- Zhang, J. (1992). Transport of particulate heavy metal towards the China Sea: A preliminary study and comparison. *Marine Chemistry*, 40, 61-178.

Perspectivas

en asuntos ambientales

La segunda edición de *Perspectivas en Asuntos Ambientales* recopila el conocimiento adquirido de más de 10 años de trabajo en la designada Reserva Natural Ciénaga Las Cucharillas en Cataño. Una experiencia colaborativa entre la academia, el gobierno y la comunidad que responde a los más altos principios de la Investigación Participativa Basada en Comunidades en los que la confianza, el respeto y el apoderamiento entre las partes ponderan en cada situación enfrentada. Responder a las necesidades de las comunidades de Cataño ha sido uno de los más grandes retos y satisfacciones de la práctica de la planificación ambiental en la Escuela de Asuntos Ambientales. Compartimos en esta edición un gran cúmulo de lecciones aprendidas que servirán de modelo para trabajar con otras comunidades en otras instancias. Así también, verán el producto de las investigaciones de estudiantes graduados dedicados a construir la información técnica y científica de este gran humedal herbáceo. ¡Enhorabuena al equipo de trabajo de esta edición y mis mejores deseos de éxito!

Carlos M. Padín Bibiloni, Ph.D.
Rector Universidad Metropolitana