

REVISTA UMBRAL

ISSN 2151-8386

Universidad de Puerto Rico
Recinto de Río Piedras

Los Estudios Generales en tiempos virtuales

XIII Simposio Internacional de la Red
Internacional de Estudios Generales
(RIDEG)

16-19 de noviembre de 2022

Número 19

agosto - mayo 2023 - 2024

Equipo editorial Revista Umbral

Angélica Varela Llavona,
Rector de la Universidad de Puerto Rico Recinto de Río Piedras

Carlos Sánchez Zambrana
Decano de la Facultad de Estudios Generales de la Universidad de
Puerto Rico Recinto de Río Piedras

Reinaldo Berríos Rivera
Decano del Decanato de Estudios Graduados y de Investigación de la
Universidad de Puerto Rico Recinto de Río Piedras

Juan Carlos García
Editor, Universidad de Puerto Rico

Jennifer Solivan
Coordinadora editorial

Junta Editora Revista Umbral

Carlos Sánchez Zambrana
Universidad de Puerto Rico Recinto de Río Piedras, (*Ex Officio*)

Eunice Pérez Medina
Universidad de Puerto Rico Recinto de Río Piedras, (*Ex Officio*)

Félix A. López Román
Universidad de Puerto Rico en Humacao

Lorna G. Jaramillo Nieves
Universidad de Puerto Rico en Río Piedras

Víctor Ruiz Rivera
Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras

Waldemiro Vélez Cardona
Universidad de Puerto Rico Recinto de Río Piedras

Junta Consultora Externa

Maia Sherwood Droz

Academia Puertorriqueña de la Lengua Española

Comité científico externo

Eduardo Devés Valdés (Universidad Santiago de Chile)

Haroldo Dilla Alfonso (Grupo de Estudios Multidisciplinarios Ciudades y fronteras)

Armando Fernández Soriano (Foro de Ecología Política de América Latina y el Caribe)

Lupicinio Íñiguez Rueda (Universidad Autónoma de Barcelona)

Claudio Maíz (Universidad Nacional de Cuyo)

Raúl Benítez Manaut (Universidad Nacional Autónoma de México)

Luis Enrique Otero Carvajal (Universidad Complutense)

Juan Manuel Santana (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria)

Eloisa Gordon Mora (Universidad del Sagrado Corazón)

Coordinadora temática para el No. 19

Vivian Auffant Vázquez

Universidad de Puerto Rico en Río Piedras

Evaluadores participantes en la revisión de pares de este número

Zaira Pacheco Lozada (Universidad de Puerto Rico, Río Piedras)

Sarela Alfaro (Universidad Nacional de Barranca)

Jefferson Cabrera (Universidad de las Artes – Ecuador)

Crisálida V. Villegas (Universidad Bicentennial de Aragua, Venezuela)

Marjori. Giomara. Herrera López (Universidad Central del Ecuador)

Ricardo Jesus Calderon Deras (Académico independiente)

Leidy Hernández (editora de la Revista Aula Virtual)

Bexy Rojas (Universidad Central de Venezuela)

Guadalupe Sánchez Álvarez (Universidad Veracruzana)

Miguela Hermosilla (Universidad Nacional de Asunción, Paraguay)

Tamara Díaz Calcaño (Universidad de Puerto Rico, Río Piedras)
Hilian Colón (Universidad de Puerto Rico, Río Piedras)
Felipe Bastidas (Universidad Internacional de La Rioja)
Larissa Hernández Monterrosa (Universidad Católica de El Salvador)
Mabel Licona (Universidad Politécnica de Ingeniería, Honduras)
Emmalind García (Universidad de Puerto Rico, Río Piedras)
Iyari Ríos González (Universidad de Puerto Rico, Río Piedras)
Anthony Cruz Pantojas (Tufts University, Medford)
Jorge Lefevre Tavárez (Universidad de Puerto Rico, Cayey)
María Córdoba (Instituto Tecnológico de Santo Domingo)
Aracelis Quintero Martínez (Académica independiente)
Ygor Deyko Ruiz Sánchez (Universidad de Puerto Rico, Río Piedras)
Bertold Salas Murillo (Universidad de Costa Rica)
Mónica Ruoti Cosp (Universidad Iberoamericana, Paraguay)
Rosa Ruffinelli (Universidad Nacional de Asunción)
Jairo Pérez (Universidad de Carabobo, Venezuela)
Semu Saant (Universidad Amawtay Wasi)
Duglas Moreno (Universidad Nacional Experimental de los Llanos
Occidentales "Ezequiel Zamora")

Correspondencia

Juan Carlos García
Editor de la Revista Umbral
Facultad de Estudios Generales
Recinto de Río Piedras de la Universidad de Puerto Rico
PO Box 23323 UPR. San Juan, PR 00931-3323.
Tel. 787 764-0000, x88800 revista.umbral@upr.edu

La Revista Umbral es la revista inter y transdisciplinaria sobre temas contemporáneos del Recinto de Río Piedras de la Universidad de Puerto Rico. Forma parte de la plataforma académica Umbral, auspiciada por la Facultad de Estudios Generales y el Decanato de Estudios Graduados e Investigación. Promueve la reflexión y el diálogo interdisciplinario sobre temas de gran trascendencia, abordando los objetos de estudio desde diversas perspectivas disciplinarias o con enfoques que trasciendan las disciplinas. Por esta razón, es foro y lugar de encuentro de las Ciencias Naturales, las Ciencias Sociales y las Humanidades. Sus números tienen énfasis temáticos, pero publica también artículos sobre temas diversos que tengan un enfoque inter o transdisciplinario. La Revista Umbral aspira a tener un carácter verdaderamente internacional, convocando a académicos e intelectuales de todo el mundo. La Revista Umbral es una publicación arbitrada que cumple con las normas internacionales para las revistas académicas. Está en [Open Journal Systems](#) y está indexada en [MIAR](#), [EBSCO Publishing](#), [ERIH Plus](#), [IBSS](#), [Latindex](#) y [REDIB](#).

Disponible en <https://revistas.upr.edu/index.php/umbral>

La Revista Umbral de la Universidad de Puerto Rico Recinto de Río Piedras está publicada bajo la [Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional](#)

REVISTA UMBRAL

I S S N 2 1 5 1 - 8 3 8 6

Universidad de Puerto Rico
Recinto de Río Piedras

Los Estudios Generales en tiempos virtuales

XIII Simposio Internacional de la Red
Internacional de Estudios Generales
(RIDEG)

16-19 de noviembre de 2022

N ú m e r o 1 9

(agosto-mayo 2024)

ÍNDICE

TEMÁTICA DEL NÚMERO

Editorial <i>Vivian Auffant Vázquez</i>	12
Los Estudios Generales en tiempos turbulentos: pandemia, corrupción y virtualidad Waldemiro Vélez Cardona	14

Estudios generales: la necesidad futura de un pasado postergado <i>Carmen Rosalynn Rivera Mendoza y Federico Miguel Rosado Zavala</i>	38
Dinámica de discusión activa como acción transformadora efectiva para el aprendizaje de los estudiantes en un curso de Ciencias Biológicas en modalidad a distancia durante la pandemia del COVID-19. <i>Carlos Ayarza-Real Gerardo Arroyo-Cruzado</i>	60
Propuesta estructural para el curso CIBI 4105: aerobiología o la ecología de la atmósfera, impacto observado en los estudiantes de Ciencias Naturales <i>Graciela E. Quintero</i>	80
Las TIC aliadas a los Estudios Generales y al desarrollo de una pedagogía de la resistencia <i>María Elena Córdoba</i>	104
La crisis civilizatoria: reflexiones sobre sus aspectos económico-políticos, ecológicos y epistemológicos <i>Ramón Rosario Luna</i>	122
Exploradores virtuales: navegando por los fundamentos de biología, la interacción y continuidad de la vida, en un curso del componente de Ciencias Naturales en los Estudios Generales <i>Rosa I. Rodríguez Cotto</i>	172
Cambio climático y la rehabilitación ambiental desde la transdisciplinariedad en la educación general <i>Wilmer O. Rivera-De Jesús</i>	204

EDUCACIÓN GENERAL

Apuntes para una historia del Departamento de Ciencias Físicas de la Facultad de Estudios Generales de la	232
---	------------

Universidad de Puerto Rico: El papel de tres grandes científicos en los albores de la década de los cincuenta
Carlos Sánchez Zambrana

La integración de la tecnología a la clase de Educación Física durante la pandemia del COVID-19 **266**
Jomar Parrilla Cruz
José M. Luna Pérez

Consecuencias del Concordato de 1851 y la Real Cédula de 1858 en la plantilla de músicos de la Catedral de San Juan de Puerto Rico **290**
Ángel Olmeda

TEMA LIBRE

Impacto del proyecto ED-3389 Programa de Formación Continua: Administración, Liderazgo y Gestión de la Educación en la Capacitación de Gestores Educativos **308**
Marco Antonio Alvarado Barboza

El teatro en México como instrumento pedagógico (1920-1940) **328**
María Collazo

RESEÑA

La educación general en Puerto Rico: La década de los cincuenta (Primera Parte), de la autoría de Carlos Sánchez Zambrana, Waldemiro Vélez Cardona y Manuel Maldonado Rivera Rogelio Escudero Valentín **358**

REVISTA UMBRAL

No. 19 (agosto-mayo 2024)

I S S N 2 1 5 1 - 8 3 8 6

Cambio climático y la rehabilitación ambiental desde la transdisciplinariedad en el currículo de educación general¹

Climate change and environmental rehabilitation from a transdisciplinary approach of the general education curriculum

Recibido: 27/07/2023. Aceptado: 25/09/2023.

Wilmer O. Rivera-De Jesús
Universidad de Puerto Rico, Río Piedras
wilmer.rivera2@upr.edu

Resumen: El cambio climático y sus impactos en la naturaleza y la sociedad impone retos que se deben atender desde un enfoque transdisciplinario. Los objetivos para un desarrollo sostenible incluyen el atender la pérdida de la biodiversidad mediante proyectos de rehabilitación enfocados en el manejo eficiente de los recursos naturales. Bajo este enfoque y a través del desarrollo de un curso sobre: Cambio climático y los sistemas ecológicos caribeños (CIBI-3027), se han integrado estudiantes universitarios a proyectos ambientales de rehabilitación que llevan a cabo organizaciones de base comunitaria en Puerto Rico. Los estudiantes mediante la teoría y práctica recibieron el entrenamiento necesario para comunicar hallazgos relevantes en esfuerzos de restauración ecológica sobre poblaciones de *Stahlia monosperma* (Cobana Negra), una especie crítica y endémica de Puerto Rico y la República Dominicana. Entre los hallazgos se puede resaltar que los parámetros abióticos evaluados indicaron un microclima principalmente húmedo para las zonas de estudio y diferencias en cuanto a la humedad de los suelos, siendo mayor en la zona 2. La población de Cobana Negra que se desarrolla en esta zona demostró tener un mejor estado de hidratación foliar en comparación a la

¹ Ponencia presentada en el XIII Simposio Internacional de Estudios Generales, adaptada como artículo para esta revista.

población que se desarrolla en la zona 1. Una vez desarrollada esta experiencia los estudiantes expresaron en un 81%, un cambio de paradigma sobre la importancia de la conservación y la protección del medio ambiente, y demostraron un mayor interés por la ciencia y su efectividad para mitigar los impactos del cambio climático en nuestras comunidades. Las recomendaciones de rehabilitación desarrolladas por los estudiantes son compartidas a la organización de base comunitaria Corredor del Yaguazo Inc., los cuales desarrollan proyectos de conservación y rehabilitación de especies críticas en Puerto Rico.

Palabras clave: Cambio climático, Sostenibilidad, Conservación, Rehabilitación, Cobana Negra, Transdisciplinariedad, Educación General

Abstract: Climate change impacts on environment promotes challenges that must be addressed from a transdisciplinary approach. Sustainable development includes the conservation of biodiversity through rehabilitation projects and the effective management of natural resources. Under this approach, the course Climate change, and the Caribbean ecological systems (CIBI-3027), integrated undergraduate students in rehabilitation projects conducted by community base organizations in Puerto Rico. By the application of theory and practice our students received the basic training to communicate relevant findings for ecological restoration and conservation efforts in populations of *Stahlia monosperma* (Cobana Negra) a critical endemic species of Puerto Rico and the Dominican Republic. Our results indicated a humid microclimate for the study areas and differences in terms of soil moisture, being higher in zone 2. The population of Cobana Negra that develops in zone 2 demonstrated a better state of foliar hydration compared to the population that develops in zone 1. Once this experience was developed, the students expressed in 81%, a change in paradigm in terms of the importance of conservation and protection of the environment and showed greater interest in science and its effectiveness to mitigate the impacts of climate change in our communities. The recommendations developed by the students are shared with the community-based organization Corredor del Yaguazo Inc., which develops conservation and rehabilitation projects for critical species.

Keywords: Climate change, Sustainability, Conservation, Rehabilitation, Cobana Negra, Transdisciplinary, General education

Cambio climático: Impacto a los ecosistemas y a la biodiversidad:

El incremento en prácticas no sostenibles en combinación con los efectos del cambio climático ha traído como consecuencia la degradación de ecosistemas y la pérdida de especies claves a un ritmo acelerado y a escala global (Feng et al, 2018). La deforestación, la fragmentación del hábitat y los cambios en el uso del suelo promueven, entre otras causas, la pérdida de servicios ecosistémicos importantes tales como; el control de inundaciones, regulación de clima, retención de contaminantes, control de plagas, entre otros (Mitsh & Gosselink, 2000; Farber et al, 2006; Zedler & Kercher, 2005).

La estructura y funcionamiento de ecosistemas terrestres están determinados principalmente por el clima, su dinámica hidrológica, su composición edáfica y la diversidad de especies presentes (Lambs et al, 2015). En adición a los impactos que reciben estos sistemas naturales por la actividad antropogénica, el cambio climático genera otras presiones que incluyen la modificación de condiciones ambientales en el hábitat y la variabilidad de factores o condicionantes abióticos (Rivera De Jesús & Rivera Ocasio, 2022). Los modelos de cambio climático para la región del Caribe y Puerto Rico, establecen un aumento acelerado en el nivel del mar, la prevalencia de periodos secos, sequías habituales y cambios en la intensidad, frecuencia y distribución de los eventos de precipitación (Lambs et al, 2015, Cardona-Olarte et al., 2014, Erwin, 2009, PRCCC, 2013), tales cambios pueden generar condiciones de estrés en el hábitat, y por consiguiente, impactos en la biodiversidad, en especial sobre aquellas especies que se encuentran amenazadas y en peligro de extinción.

Desde el punto de vista biológico, la capacidad de tolerancia de un organismo se refiere a la resistencia que puede presentar el individuo a condiciones estresantes al mantener su funcionamiento fisiológico (Lambers et al, 2008 & Osmond et al., 1987). Por lo tanto, la tolerancia que pueda presentar un organismo determinará el rango de condiciones ambientales en el que el mismo puede persistir y mantener su funcionamiento biológico. Esto es importante, ya que la limitación de la capacidad de tolerancia de las especies puede explicar en gran parte la pérdida excesiva de biodiversidad a consecuencia de cambios en condiciones ambientales adversas generados por el cambio climático.

El programa de evaluación de los ecosistemas del milenio “Millennium Ecosystem Assessment” (Reid et al,2005) resalta que, en los últimos 50 años, los seres humanos han transformado los ecosistemas más rápido que en ningún otro período de tiempo comparable de la historia humana. Esto para resolver las demandas crecientes de alimentación, abastecimiento de agua, producción industrial y combustible, entre otras. Los cambios generados sobre los ecosistemas han contribuido, por un lado, ganancias económicas considerables, pero a su vez, la degradación excesiva de ecosistemas, la promoción de cambios no lineales en el hábitat, la pérdida de biodiversidad y la acentuación de la pobreza en diversas clases y grupos sociales. La degradación de los servicios ecosistémicos podría empeorar considerablemente y ser un obstáculo para lograr un mundo sostenible y promover un planeta cada vez más comprometido en sus recursos para las generaciones presentes y futuras.

Rehabilitación sostenible

Los objetivos y metas para un desarrollo sostenible establecidos por la ONU, incluyen el atender la pérdida de la biodiversidad mediante proyectos de rehabilitación enfocados en el manejo eficiente de los recursos naturales, la conservación de la diversidad biológica y la protección de ecosistemas críticos (Brundtland, 1998). La naturaleza del desarrollo sostenible encierra en sí mismo un aspecto inter y transdisciplinario, ya que bajo esta visión se contempla el uso eficiente de los recursos naturales sin comprometer su disponibilidad en el presente, de tal forma que las futuras generaciones puedan satisfacer sus necesidades (Brundtland, 1998). Establecer un balance entre los elementos sociales, económicos y ambientales es el reto que nos impone la sostenibilidad y para estos fines, los objetivos de desarrollo sostenible exponen una serie de propuestas, cuya ejecución requiere de enfoques inter y transdisciplinarios.

Estos objetivos incluyen, pero no se limitan, el atender la desigualdad social, la erradicación de la pobreza, la producción y consumo responsable, acciones concretas por el clima y atender la vida en los ecosistemas terrestres y marinos mediante la rehabilitación de estos (Brundtland, 1998). La rehabilitación sostenible de ecosistemas presenta grandes retos, ya que las condiciones climáticas actuales no son las mismas de hace 30 años, los cambios en los usos de la tierra son más frecuentes y pronunciados, y la modificación de las dinámicas hidrológicas establecen una nueva realidad ambiental que dificultan el poder regresar estos ecosistemas a su estado original (Simenstad et al, 2006).

En Puerto Rico, al igual que en otras partes del mundo, existen diversas organizaciones de base comunitaria que llevan a cabo proyectos de rehabilitación. No obstante, muchas de ellas enfrentan la falta de recursos, tanto económicos como humanos, y de asesoría científica para dirigir estos esfuerzos de forma más efectiva. Un ejemplo de esto es el caso del Humedal Urbano: Ciénaga Las Cucharillas, donde la organización de base comunitaria Corredor del Yaguazo Inc., localizada en la comunidad Juana Matos en el municipio de Cataño, Puerto Rico, por más de 30 años, ha desarrollado iniciativas sociales y ambientales enfocadas en la conservación y rehabilitación de estos ecosistemas. Durante esos años, los proyectos han consistido principalmente en la reforestación de áreas del humedal, mediante la dispersión natural y asistida de semillas de especies arbóreas nativas y vulnerables. Aunque estos esfuerzos han sido muy productivos, no todas las especies han logrado tener un éxito de restablecimiento a consecuencia de las condiciones ambientales cambiantes en el ecosistema. En este aspecto los aportes de la ciencia, se hacen relevantes para caracterizar las condiciones ambientales prevalecientes en el ecosistema y la capacidad de tolerancia de las especies a estas condiciones considerando la nueva realidad climática; por lo cual el conocimiento sobre la capacidad de tolerancia de las especies a condiciones estresantes es un elemento determinante para el éxito de cualquier esfuerzo de rehabilitación y de conservación a corto, mediano y largo plazo.

Educación en cambio climático con enfoque inter y transdisciplinario

Considerando los aspectos previamente expuestos e integrando los mismos al ofrecimiento de soluciones prácticas en iniciativas ambientales

comunitarias, el curso Cambio Climático y los Sistemas Ecológicos Caribeños (CIBI 3027) del Departamento de Ciencias Biológicas de la Facultad de Estudios Generales de la Universidad Puerto Rico-Recinto de Río Piedras, es una alternativa para cumplir con el requisito de Ciencias Naturales del componente de Educación General para estudiantes subgraduados que no necesariamente continuarán con una especialidad en Ciencias Naturales y cuyos perfiles académicos son variados. El curso presenta la discusión teórica y contextual de temas relacionados al cambio climático y el impacto a los sistemas ecológicos de la zona del Caribe y Puerto Rico. El mismo está acompañado de un componente activo de laboratorio, en el que mediante experiencias de investigación, los estudiantes desarrollan competencias, destrezas y procesos relacionados a la construcción del conocimiento científico con el fin de traducir este conocimiento en recomendaciones efectivas para la rehabilitación de ecosistemas y la conservación de especies ante los impactos del cambio climático. El diseño de las diversas experiencias de laboratorio contempla áreas de conocimiento y destrezas necesarias para la rehabilitación de ecosistemas, y a su vez, que el estudiante, desde las herramientas provistas por la ciencia, pueda transferir este conocimiento a escenarios reales de rehabilitación comunitaria. Según Zerpa & Yamín (2009), la transdisciplinariedad en las instituciones de educación superior permite salir del claustro universitario y aproximarse a la comunidad actuando como mediadores en la solución de problemas y permitiendo el diálogo entre disciplinas y mediante la integración de saberes.

El objetivo del siguiente trabajo es exponer como el desarrollo de un curso de cambio climático con un enfoque inter y transdisciplinario puede ser efectivo en el ofrecimiento de soluciones prácticas en proyectos

comunitarios de rehabilitación ambiental. Además, se describe cómo los estudiantes perciben un curso de ciencias bajo este enfoque y su motivación por aprender sobre temas de cambio climático, una vez expuestos a estas experiencias. El trabajo incluye los datos y análisis desarrollados por los estudiantes del curso (CIBI-3027), durante el año académico 2022-2023, en cuanto al monitoreo de poblaciones de plantas en peligro de extinción, como es el caso de la Cobana Negra (*Stahlia monosperma*), que se desarrollan en la Reserva Natural Ciénaga Las Cucharillas mediante proyectos comunitarios de conservación y rehabilitación de la especie. También, se presenta la perspectiva de los estudiantes al tomar un curso de Cambio Climático con enfoque transdisciplinario, antes y después de vivir estas experiencias educativas.

Aspectos metodológicos

Las actividades de laboratorio que acompañaron las secciones teóricas del curso CIBI-3027, se agruparon en las siguientes áreas temáticas: Metodología de la ciencia y competencias de información, Análisis del clima, Interacciones abióticas y Análisis ambiental del hábitat. Estas actividades fueron desarrolladas mediante experiencias de investigación auténtica que sirvieron de adiestramiento para que los estudiantes lograran identificar y manejar variables, desarrollar preguntas e hipótesis de investigación, realizar procesos de experimentación y medición, manejar y analizar datos y generar conclusiones que incluyan recomendaciones efectivas para la rehabilitación y conservación de especies vulnerables. Desde el inicio del curso, todas las actividades desarrolladas fueron contextualizadas en el escenario real de rehabilitación

que se desarrolla en la reserva natural, Ciénaga Las Cucharillas, localizada en el municipio de Cataño, Puerto Rico. Esta ciénaga es el humedal remanente más grande dentro de la zona metropolitana la cual comprende un área aproximada de 500 hectáreas de terreno y a su vez forma parte del Estuario de la Bahía de San Juan. Este humedal se clasifica como uno estuarino según el “National Wetlands Inventory” (NWS), por lo que persiste una mezcla entre agua dulce y salada por su cercanía a la costa. Los estudiantes tuvieron como objetivo el monitorear poblaciones de *Sthalia monosperma* que se desarrollan en este ecosistema en función de las condiciones ambientales prevalecientes en el hábitat.

La Cobana Negra es una especie exclusiva de Puerto Rico y la República Dominicana que puede ocupar zonas anegadas o de inundación periódica. La misma, por diversas presiones y cambios ambientales, se encuentra bajo el listado federal de especies amenazadas y en peligro de extinción (USFWS,1996). En estado silvestre se han identificado pocas poblaciones (suroeste y noreste de PR) con números bajos de individuos (USFWS, 1996) y en Cucharillas se desarrolla otra población gracias a proyectos comunitarios de recuperación de la especie. Ante los cambios ambientales que experimentan estos ecosistemas es importante desarrollar estudios sobre esta especie para conocer su capacidad de tolerancia a escenarios de estrés hídrico y salino. Para lograr un monitoreo efectivo sobre estas poblaciones y las condiciones ambientales prevalecientes en el ecosistema, los estudiantes aprendieron a desarrollar descripciones y caracterizaciones del clima a escala local, mediante el desarrollo de climadiagramas y la aplicación de índices de humedad (Bailey, 1958). Utilizando la red de estaciones de “Weather Underground” y la estación meteorológica ITOABA5 los estudiantes describieron la

prevalencia de periodos húmedos y secos y la variabilidad estacional en los patrones de precipitación y temperatura promedio anual para la zona de Cataño desde el año 2020 hasta inicios del año 2023, el cual incluye el periodo en que se realizó el monitoreo de campo.

Para establecer la influencia del clima sobre condicionantes abióticos que pueden generar escenarios estresantes en el ecosistema, los estudiantes aplicaron protocolos para determinar el pH y la humedad relativa del suelo (%), así como la salinidad (ppt) del agua freática (Figura 1). Por otra parte, y con el fin de analizar la respuesta biológica que presentan los organismos bajo estudio a las condiciones ambientales prevalecientes en el hábitat, los estudiantes aplicaron parámetros biológicos asociados a especies de plantas (Figura 1). Mediante medidores de clorofila, modelo "Spectrum-SPAD 502", se determinó la concentración de clorofila en las hojas y la biomasa seca foliar (g) los cuales son buenos indicadores del estado nutricional de la planta y del contenido de N en el organismo. En adición, se determinó el diámetro de los árboles a la medida del pecho del investigador (DBH-cm) y el contenido de agua foliar (g) con el fin de establecer el estado hídrico de la especie y su desarrollo estructural (Figura 1).

Con estos protocolos debidamente desarrollados, se realizó la experiencia cumbre del curso, la cual consistió en trasladar nuestros estudiantes fuera del aula a zonas de rehabilitación en las que se desarrollan poblaciones de *S.monosperma* en la Reserva Natural Ciénaga Las Cucharillas. La visita se realizó durante la primera semana del mes de abril de 2023, en coordinación con la organización comunitaria Corredor del Yaguazon Inc., se realizó un recorrido por las zonas de rehabilitación para la aplicación de los análisis y protocolos previamente descritos, para

comparar 2 poblaciones de *S.monoperma* establecidas en la reserva (Figura 2). Con esta experiencia se determinó las posibles variaciones en las condiciones ambientales de estos hábitats y se estableció el éxito o las limitaciones biológicas que estas poblaciones pudieran estar enfrentando en este ecosistema.

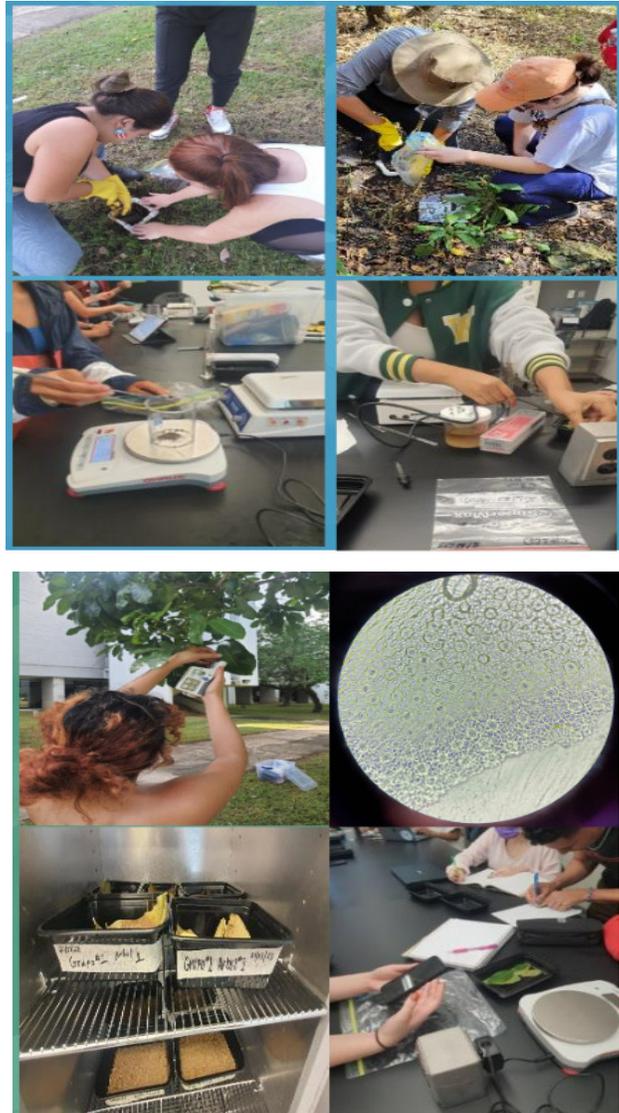


Figura 1. Protocolos y análisis de parámetros abióticos y bióticos desarrollados por los estudiantes como parte de las experiencias de laboratorio de CIBI-3027



*Figura 2. Análisis y monitoreo de campo en poblaciones de *S.monosperma* en la Reserva Natural Ciénaga Las Cucharillas en Cataño, PR*

Los análisis comparativos se desarrollaron sobre parámetros abióticos en las zonas de estudio (Z1-Zona 1 y Z2- Zona 2) en las que se encuentran las 2 poblaciones de la especie y en evaluar entre 3 a 4 individuos por población para los cuales se aplicó la determinación de parámetros biológicos previamente descritos. Mediante el programado estadístico “Past 4.03”, se desarrollaron pruebas estadísticas para la comparación de medias de dos muestras aplicando la prueba de “T-student” con un valor de significancia de $p \leq 0.05$. Esta prueba estadística se aplicó para evaluar el contenido de agua foliar (g) $N=34$ y biomasa foliar (g) $N=34$. Una vez desarrollado estos análisis, los estudiantes establecieron conclusiones y recomendaciones concretas en las que se resaltó la importancia de la integración de estos análisis para la efectividad de proyectos de rehabilitación ecológica y de conservación de la especie.

Se logró identificar cómo los organismos pueden variar en su respuesta biológica a condicionantes abióticos del ambiente y a su vez, establecer como el clima prevaleciente determina las condiciones ambientales en el ecosistema. Los hallazgos y recomendaciones aquí expuestas le brindarán estrategias novedosas a la organización comunitaria y al personal voluntario que trabaja en estos proyectos ambientales para la recuperación y el establecimiento efectivo de estas poblaciones de *S. monosperma* en la reserva natural.

Microclima y condiciones ambientales del hábitat

Las descripciones microclimáticas históricas (2020-2023) desarrolladas por los estudiantes para la zona de Cataño (ITOABA 5) muestran una distribución bimodal en la precipitación y temperatura, lo cual coincide con el patrón climático típico que prevalece en Puerto Rico, con dos épocas de mayor precipitación, dos periodos más secos y temperaturas altas y bajas distribuidas en dos periodos anuales (Figura 3A). Interesantemente, para el periodo previo al estudio de campo, se registró durante el mes de enero de 2023 un pico de precipitación de 450cm de lluvia, lo cual no es común para esta época del año (Figura 3B).

Aunque a partir de febrero 2023 se comienza a registrar una disminución en la precipitación, el insumo de agua registrado en el mes de enero en conjunto con los eventos mínimos de lluvia registrados en los meses subsiguientes pudo haber generado un ambiente más húmedo y de mayor disponibilidad de agua lo cual puede verse reflejado en la humedad del suelo encontradas en las zonas de estudio. En términos generales, se

puede establecer que para el periodo histórico analizado (2020-2023) no se reflejó un patrón predominantemente seco o de escenarios de sequía extrema para la zona de Cataño. Esto puede responder a la influencia que tuvo el fenómeno de la Niña en los patrones de humedad y precipitación durante los años estudiados sobre la región del Caribe y PR. Durante años de Niña los eventos de lluvia pueden ser más frecuentes, aún dentro de periodos secos, y las épocas de humedad se mantienen dentro de su distribución anual con eventos de lluvias que pudieran ser más intensos.

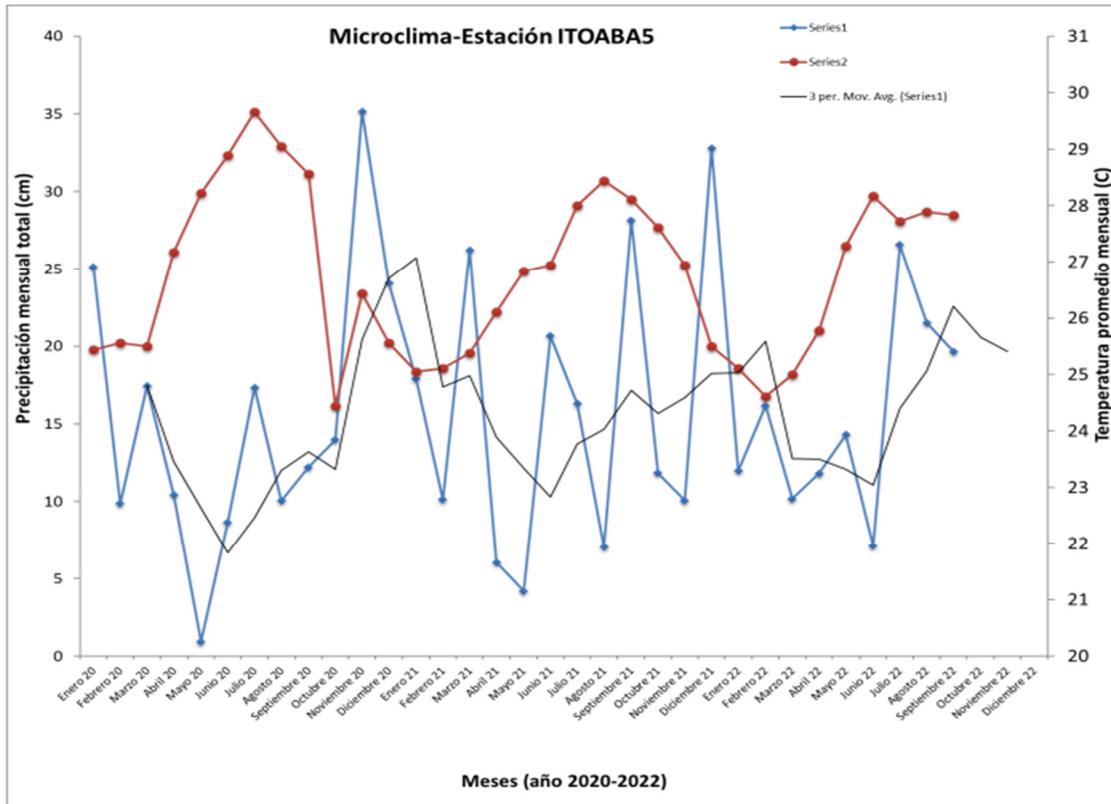


Figura 3A

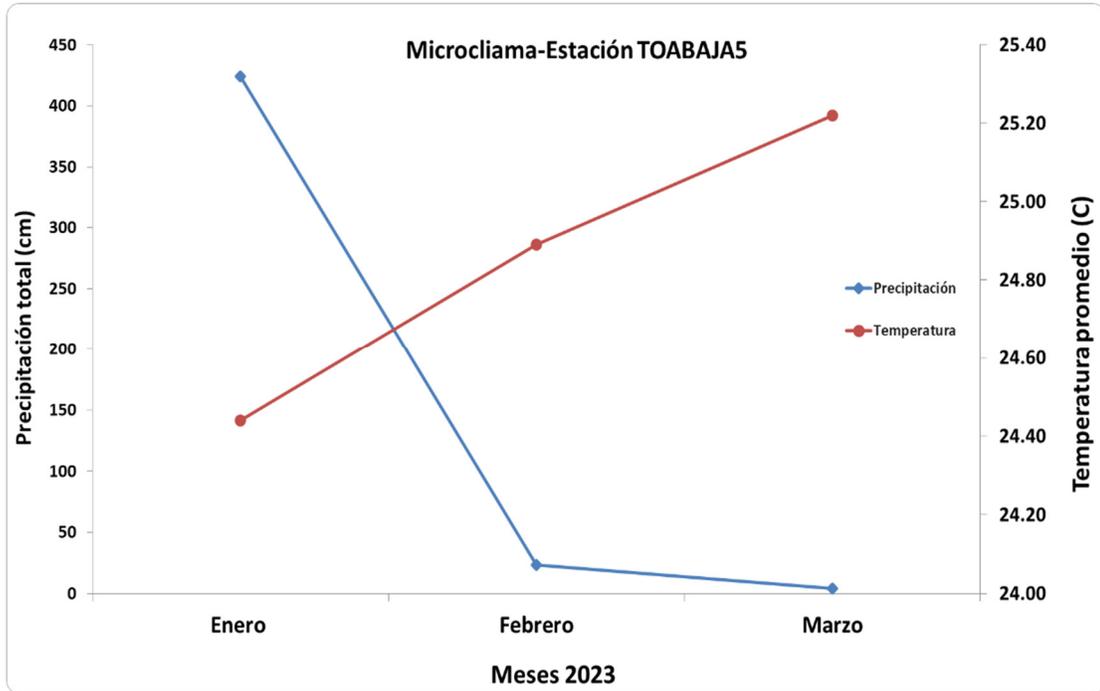


Figura 3B

Figura 3. Climadiagrama para la zona de Cataño durante los años (2020-2023) mediante la estación meteorológica (ITOABA5). La **figura 3A** muestra el patrón prevaleciente en términos de precipitación y temperatura promedio durante los años 2020 al 2022, mientras que la **figura 3B** muestra el patrón microclimático durante los primeros meses del año 2023, previo al estudio de campo.

Al analizar muestras de suelo y el agua freática colectada en pozos de muestreo en las zonas (Z1 y Z2), en donde se desarrollan poblaciones de *S.monosperma*, se encontró una diferencia en cuanto al porcentaje de humedad de suelo y la salinidad entre ambas zonas (Figura 4A y Figura 4B). Los datos de humedad de suelo en la Z2 muestran un rango de 65% a 78%, mientras que las muestras suelo de la Z1 el rango fue un tanto más bajo con porcentos de humedad entre 56% a 66% (Figura 4A). Aunque ambas zonas reflejaron porcentos de humedad que sobrepasan el 50%,

los datos obtenidos de la Z2 demuestran una mayor disponibilidad de agua en estos suelos en comparación a la Z1.

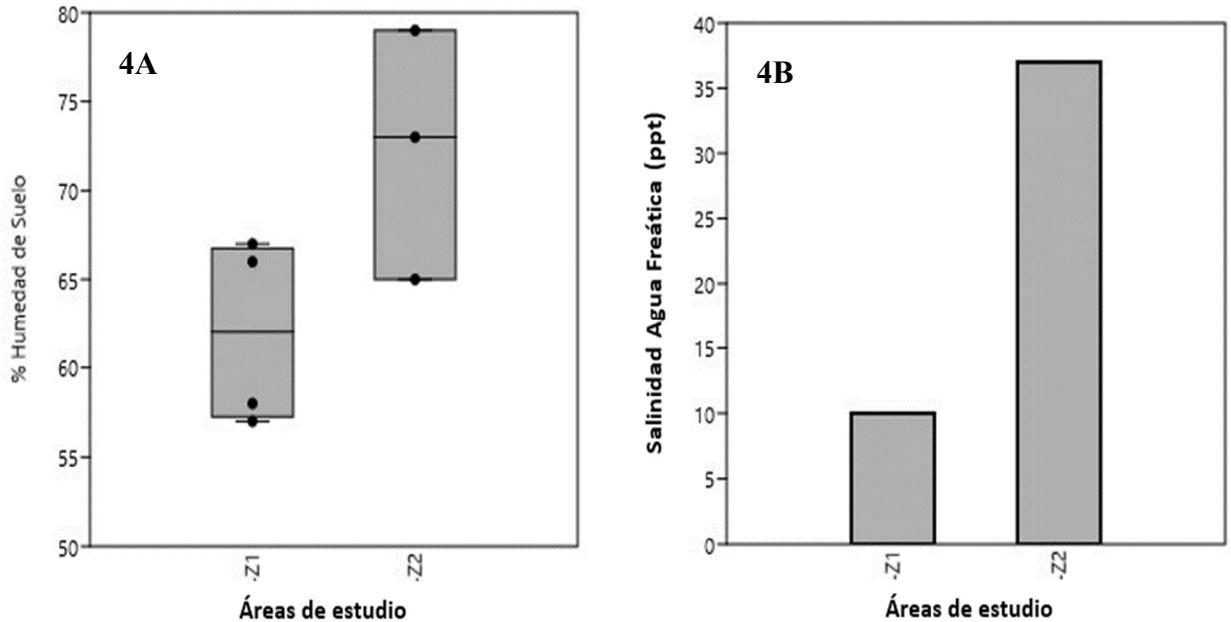


Figura 4. Comparaciones entre zonas de estudios (Zona 1-Z1 y Zona 2-Z2) en cuanto a % de humedad de suelo y salinidad del agua freática. La **figura 4A** muestra la comparación entre zonas de estudios en cuanto a humedad del suelo y la **figura 4B** muestra la comparación en salinidad que refleja el agua freática entre las zonas de estudio.

Los porcentajes elevados de humedad de suelo para ambas zonas pueden corresponder al escenario microclimático húmedo descrito previamente para el área de Cataño. La diferencia en cuanto a humedad reflejada en la Z2 puede responder específicamente al hecho de que la población de *S. monosperma* que se desarrolla en esta zona se encuentra un poco más aislada de la competencia interespecífica por agua con otras especies prevalientes en el área, a diferencia de la Z1 en donde hay una

mayor variedad de especies que se desarrollan cerca o en conjunto con los individuos de esta población. Por otro lado, la forma en como los individuos fueron sembrados y distribuidos en la Z2 guardan una mayor distancia, reduciendo también la competencia intraespecífica por agua en comparación a la forma en cómo se encuentran sembrados y distribuidos los individuos de la Z1.

Como se ha descrito previamente, el ecosistema estudiado es un humedal de tipo estuarino en donde ocurre una mezcla entre agua dulce y agua salada por su proximidad a la costa, por lo tanto, es importante evaluar parámetros de salinidad en estos sistemas naturales. Al comparar la salinidad del agua freática vemos una diferencia entre las zonas de estudio reflejándose el valor más alto, 38ppt, en la Z2 (Figura 4B). La salinidad que refleja esta zona en el agua que discurre de forma subterránea por estos suelos indica que en esta zona hay una mayor intrusión salina por la influencia que puede generar las marejadas diurnas de la Bahía de San Juan, la expansión de la cuña salina a consecuencia del aumento en el nivel del mar y la poca influencia de cuerpos de agua dulce en la zona.

Cabe señalar que la población de *S. monosperma* que se desarrolla en la Z1 está más cercana a canales de agua dulce que se han construido de forma artificial para el control de inundaciones. Esto puede explicar la baja salinidad registrada en el agua freática en esta zona de estudio. Aunque la salinidad es un factor ambiental que puede generar escenarios de estrés hídrico en especies de plantas, para el momento en que fue desarrollado este monitoreo ambiental la condición húmeda prevaleciente en los suelos y la disponibilidad de agua dulce en las zonas de estudio pudo haber inhibido los efectos que puede tener el factor salino sobre estas

poblaciones. Considerando esta variación en salinidad que presentan las zonas de estudio sería importante evaluar la salinidad anual en estas zonas y evaluar parámetros biológicos en estas poblaciones en respuesta al estrés hídrico y salino.

Parámetros biológicos en poblaciones de *S.monosperma*

Considerando el perfil microclimático y ambiental que prevalece en el ecosistema para el momento en que fue desarrollado el monitoreo de campo, se pueden relacionar los parámetros abióticos previamente analizados con la respuesta biológica que presentan las poblaciones de *S. monosperma* bajo estudio. Al analizar características foliares de ambas poblaciones, en términos de biomasa (g) y contenido de clorofila (SPAD), no se observaron diferencias significativas entre ambas poblaciones, según la prueba de *T-Student* (Figura 5A y Figura 5B). Esta similitud en las medias puede ser indicativo, que en términos nutricionales, las poblaciones de Cobana se encuentran en suelos nutricionalmente fértiles y con buen contenido de N, lo cual puede explicar las concentraciones elevadas de clorofila en el tejido foliar de ambas poblaciones.

El estrés nutricional es otro factor ambiental que puede limitar el desarrollo estructural de especies de plantas. La movilidad de nutrientes depende directamente de la disponibilidad de agua en los suelos y se ha demostrado que en ambientes húmedos los macronutrientes esenciales como el N, P y K se hacen más disponible para su incorporación a través de las raíces (Rivera De Jesús et al, 2013). Al encontrarnos en un escenario de alta humedad para el momento en que fué desarrollado el estudio, esto

pudo incidir en la disponibilidad de nutrientes en los suelos y por consiguiente en la biomasa foliar y el contenido de clorofila reflejado en ambas poblaciones de *S. monosperma*.

Al evaluar el contenido de agua foliar (g) entre las poblaciones bajo estudio, se reflejó diferencia significativa entre los individuos de la Z1 y Z2, siendo la población de *S. monosperma* de la Z2 la que muestra el valor promedio más elevado (Figura 5C). También, en los DBH evaluados, se muestra una diferencia entre estas poblaciones obteniéndose el valor promedio más alto en la población de la Z2 (Figura 5D). Las diferencias encontradas en cuanto al contenido de agua foliar y el DBH entre estas poblaciones se puede relacionar directamente con las diferencias encontradas en cuanto a la humedad del suelo en las zonas evaluadas, por lo que suelos más húmedos pueden incidir en una mejor hidratación del tejido foliar y en un mejor desarrollo estructural del tallo. En la población de la Z1 se reflejó una mayor variabilidad en estos parámetros lo cual puede ser indicativo, que aunque los suelos en esta zona reflejaron una buena humedad, la competencia inter e intraespecífica que se desarrolla en esta zona puede limitar la hidratación foliar y el desarrollo estructural, lo cual pudo ser observado en los individuos de esta población. Este aspecto debe tomarse en cuenta para la rehabilitación de esta especie y se debe continuar monitoreando estos parámetros, en especial sobre la población de *S. monosperma* que se desarrolla en la Z1.

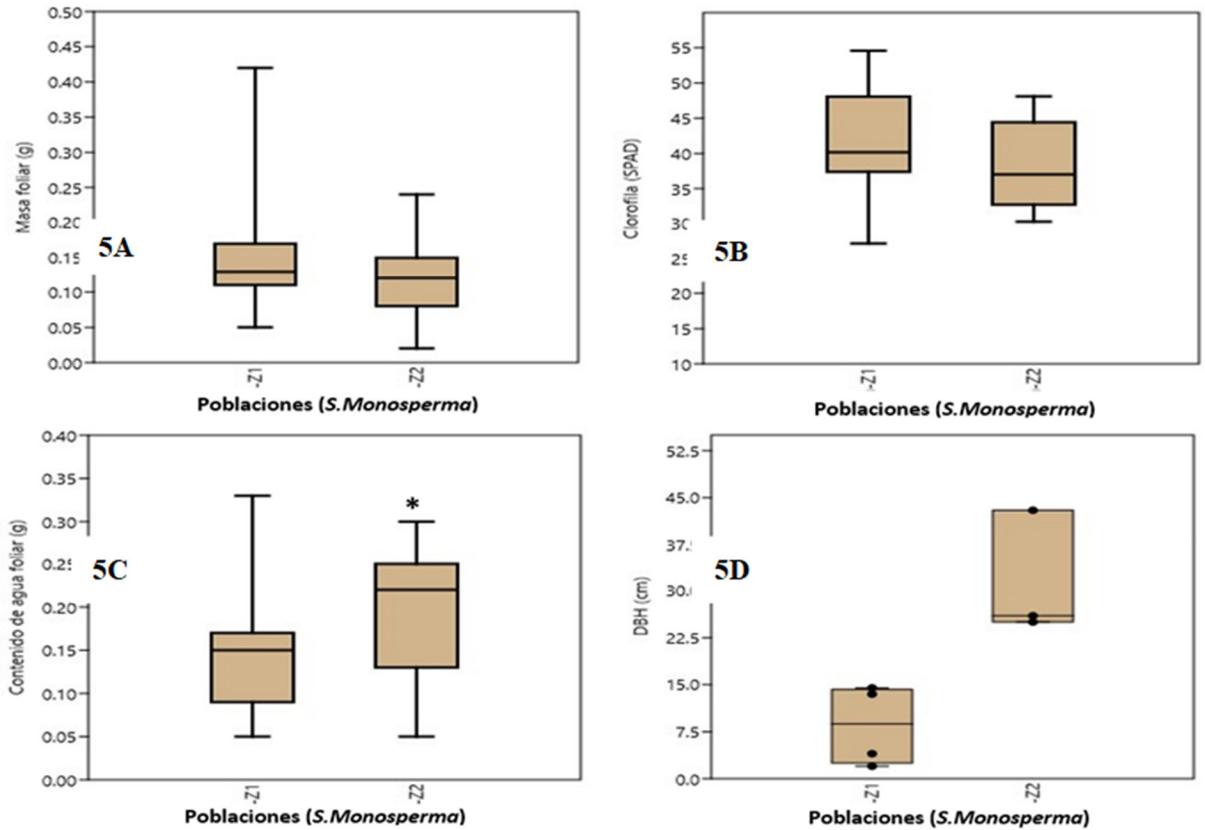


Figura 5. Comparaciones en parámetros biológicos en poblaciones de *S. monosperma* (Z1 y Z2). La **figura 5A** muestra la comparación en términos de biomasa foliar (g), la **figura 5B** muestra la comparación en cuanto al contenido de clorofila (SPAD), la **figura 5C** la comparación en términos del contenido de agua foliar (g) y la **figura 5D** la comparación en DBH. El símbolo (*) refleja diferencia significativa mediante la prueba de T-Student $p \leq 0.05$; $N=34$.

Consideraciones finales para la docencia y recomendaciones de rehabilitación:

La experiencia aquí expuesta, los análisis desarrollados y los hallazgos discutidos no solo quedaron confinados a un curso o aun escenario académico/universitario, sino que trascendieron desde nuestras

aulas hacia nuestras comunidades, elemento a lo que la transdisciplinariedad nos mueve. Al evaluar la encuesta administrada a 25 estudiantes del curso CIBI 3027, los cuales pasaron por toda la experiencia antes descrita, los mismos expresaron que al llegar al curso se sentían en su mayoría (80%) con una motivación baja o regular por aprender temas de ciencias y de cambio climático. Al culminar el curso cerca del 81% de los estudiantes encuestados expresaron haber cambiado su motivación por aprender más sobre temas de ciencia y de cambio climático. Esto implica, que la misma cantidad de estudiantes que entró al curso con una baja motivación, experimentó un cambio en paradigma por aprender más sobre temas de cambio climático, sus implicaciones sobre nuestros sistemas naturales y la búsqueda de soluciones transdisciplinarias, para la rehabilitación de nuestros ecosistemas y especies vulnerables. El 86% de los estudiantes encuestados indicaron que las actividades desarrolladas en el curso y en el laboratorio fueron de gran utilidad y aprendizaje en cuanto al manejo de la tecnología y la aplicación de métodos de investigación en la ciencia para traer soluciones a problemas ambientales del mundo real. Expresaron a su vez, que la actividad de monitoreo de campo y la preparación previa para la misma los hicieron sentir como investigadores y como agentes de cambio brindando soluciones prácticas y aportando a la lucha contra el cambio climático. Aquí algunas de las expresiones más significativas de los estudiantes al culminar el curso.

“Este curso y la forma en como fue desarrollado me enseñó la importancia de movernos como comunidad y aportar al bien de la sociedad para el beneficio propio, el de la comunidad y el país en estos temas ambientales.”

“Ya que me encuentro estudiando comunicación audio/visual, actividades como la del humedal en Cataño me motivan a querer documentar

situaciones de este tipo. Por otro lado, me preocupo por el ambiente y me encanta ver personas en la comunidad que hacen este tipo de iniciativas y lo que pueden lograr con su conocimiento. También me gusta saber información acerca de las especies en sus respectivos ecosistemas.”

“El viaje de campo aportó mucho a mi formación como estudiante, ya que estoy más acostumbrada a quedarme en el salón de clases y hacer proyectos por medio de lecturas. El poder hacer un proyecto en la cual fui físicamente a sacar mis muestras y analizar las mismas, añadió mucho a mi formación como estudiante.”

Al reflexionar sobre estas expresiones y la experiencia de desarrollar un curso bajo este enfoque, puedo concluir que esta aventura académica desde la transdisciplinariedad me permitió como profesor e investigador, desarrollar una comunidad de aprendizaje y un equipo de trabajo en la que todos los saberes y destrezas desarrolladas fueron esenciales para las recomendaciones de rehabilitación aquí expuestas. En este aspecto cabe resaltar que el cambio climático y las variaciones en las condiciones ambientales que experimentan nuestros ecosistemas genera impactos en la vida silvestre y por esta razón todo esfuerzo de rehabilitación y reforestación debe estar enmarcado en esta realidad.

La rehabilitación de especies críticas debe considerar la capacidad de respuesta de los organismos ante condiciones ambientales variables y de esta manera redirigir estos esfuerzos hacia la selección y siembra exitosa con especies más tolerantes y mejor aclimatadas a estas condiciones. A tales efectos recomendamos la siembra de esta especie hacia las zonas donde hay una mayor disponibilidad de agua y donde la competencia intra e interespecífica sea baja. También, es importante que, al momento de desarrollar las siembras con esta especie, las mismas consideren suelos húmedos, de baja salinidad y distantes a otras especies que pudieran ser más competitivas por el recurso agua en este ecosistema.

Es importante continuar con los trabajos de monitoreo ambiental sobre estas poblaciones, en los que se puede incorporar las variaciones anuales sobre los parámetros abióticos estudiados, desarrollar análisis ecofisiológicos sobre estas poblaciones y evaluar el desarrollo de estos individuos y su éxito de establecimiento en los diferentes estadios de vida. Trabajos como este posicionan a la universidad como una aliada en la comunidad en donde la misma sirva de puente para ofrecer soluciones sostenibles a situaciones que nos afectan a todos. Desde el punto de vista como docente, un curso bajo este enfoque transdisciplinario posiciona al estudiante en su rol como ciudadano, para que, desde su individualidad, pueda desarrollar aportaciones a la lucha contra el cambio climático y a su vez reflexionar en cómo la ciencia, más allá de un laboratorio o de un experimento tradicional, puede servir como vehículo en el ofrecimiento de soluciones sostenibles a problemáticas naturales y sociales que se dan en nuestras comunidades.

Agradecimientos

Se agradece el compromiso que mostraron los estudiantes del curso CIBI 3027 sec. 103, del año académico 2022-2023, su disposición por aprender y ser agentes de cambio.

El auspicio, colaboración y compromiso genuino del Departamento de Ciencias Biológicas de la Facultad de Estudios Generales por fomentar el desarrollo de experiencias transdisciplinarias, el soporte técnico y de infraestructura y la adquisición de materiales y equipos para el desarrollo de los análisis de campo y de laboratorio. Al Decanato de Estudios

Graduados e Investigación (DEGI) de la UPR-RP por el respaldo financiero para la divulgación internacional de este proyecto. De forma especial al equipo de trabajo que conforma el Corredor del Yaguazo Inc. y su líder comunitario Sr. Pedro Carrión por su compromiso con el medio ambiente y ser un facilitador para la investigación y educación ambiental en PR.

Referencias

Bailey H.P. (1958). A Simple Moisture Index Based upon a Primary Law of Evaporation. *Geografiska Annaler*, 40, 196-215

Brundtland, G. (1987). Informe: Nuestro futuro común. Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo: Asamblea #83 de las Naciones Unidas.

Cardona-Olarte, P., Krauss K. & Twilley, R.R. (2013). Leaf Gas Exchange and Nutrient Use Efficiency Help Explain the Distribution of Two Neotropical Mangroves under Contrasting Flooding and Salinity. *International Journal of Forestry Research*, 2013, 1- 10. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/524625>

Erwin, K. L. (2009). Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world. *Wetlands Ecology and management*, 17(1), 71-84.

- Farber S., Costanza R., Childers D., Erickson J. & Gross K., et. al, (2006). Linking Ecology and Economics for Ecosystem Management. *BioScience*, 56,2,121-133.
- Feng, X., Uriarte, M., González, G., Reed, S., Thompson, J., Zimmerman, J. K., & Murphy, L. (2018). Improving predictions of tropical forest response to climate change through integration of field studies and ecosystem modeling. *Global change biology*, 24(1), 213-232.<https://doi.org/10.1111/gcb.13863>
- Lambers H., Stuart-Chapin III F. & Pons T.L. (2008). Plant Physiological Ecology. 2nd edition. Springer-Sciences. New York, N.Y.
- Lambs L., Bompoy F., Imbert D., Corenblit D. & Dulorme M. (2015). Seawater and Freshwater Water Circulations through Coastal Forested Wetlands on a Caribbean Island. *Water*, 7, 4108-4128; [doi:10.3390/w7084108](https://doi.org/10.3390/w7084108).
- Mitsch, W.J. & J.G. Gosselink (2000). Wetlands,3rd ed. John Wiley & Sons, New York, 2000,NRCS. National Resource Inventory: Background and Highlights. USDA-NRCS, Washington,D.C.
- National Research Council (NRC), (1992). Restoration of Aquatic Ecosystems; Science, Technology and Public Policy. National Academy Press, Washington, DC.
- Osmond C.B, et al. (1987). Stress Physiology and the distribution of Plants. *BioScience*,37(1),38-48.

Puerto Rico Climate Change Council (PRCCC), (2013). Puerto Rico's State of the Climate 2010-2013: Assessing Puerto Rico's Social-Ecological Vulnerabilities in a Changing Climate. Puerto Rico Coastal Zone Management Program, Department of Natural and Environmental Resources, NOAA Office of Ocean and Coastal Resource Management. San Juan, PR.

Simenstad C., Reed D & Ford M. (2006). When is restoration not? Incorporating landscape-scale processes to restore self-sustaining ecosystems in coastal wetland restoration. *Ecological Engineering*, 26, 27-39

Reid, W., Mooney, H., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S., Chopra, K., & Zurek, M. (2005). Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report, March 2005. Publisher: Island Press Editor: Millennium Ecosystem Assessment.

Rivera-De Jesús, W.O., et al. (2013). Eficiencia en el uso de nutrientes en especies arbóreas utilizadas en áreas de mitigación en la Ciénaga Las Cucharillas. *Perspectivas en Asuntos Ambientales*. 2(1),109-125.

Rivera-De Jesús, W.O. & Rivera-Ocasio, E. (2022). Tolerance and recuperation capacity of tropical native tree species to hydric and saline stress: An experimental approach for wetlands rehabilitation. *Wetland Science & Practices*,40(1), 51-59.

US Fish and Wildlife Service. (1996). *Stahlia monosperma* (Cobana Negra) Recovery plan.

Zedler J.B. & Kercher S. (2005). Wetland Resources: Status, Trends, Ecosystem Services and Restorability. *Annual Review of Environmental Resources*, 30, 39-74

Zerpa, I. G., & Yamín, N. G. (2009). La transdisciplinariedad en la educación superior del siglo XXI. *Revista de artes y humanidades UNICA*, 10(3)

