



## Evaluación ambiental integral de la biodiversidad en las inmediaciones de la Bahía del Mariel, Artemisa, Cuba

Environmental assessment of biodiversity in the vicinity of Mariel Bay, Artemisa, Cuba

<sup>1</sup>María Mercedes León Rodríguez\*, <sup>2</sup>Jovani Rojas González, <sup>3</sup>Jorge Luis Fontenla Rizo, <sup>4</sup>Yanni Fontenla García, <sup>5</sup>Ramona Oviedo Prieto, María Tomasa González Echevarría, Nereida Mestre Novoa, Pedro Pablo Herrera Oliver

### RESUMEN

Instituto de Ecología y Sistemática, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), La Habana, Cuba.

\*Correspondencia:  
[mariamercedesleon1971@gmail.com](mailto:mariamercedesleon1971@gmail.com)

Recibido: 20 de julio de 2025

Aceptado: 28 de noviembre de 2025

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

**Contribución de los autores:** MMLR, JRG, JLFR, YFG, ROP, MTGE, NMN y PPHO: Conceptualización, Metodología, Validación y Análisis formal. MMLR: Redacción - borrador original, Recursos, Visualización, Supervisión y Administración del proyecto. MMLR, JRG, JLFR, YFG, ROP, MTGE, NMN: Redacción - revisión y edición.



Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons



<https://cu-id.com/2402/v224e12>

La evaluación ambiental integral con enfoque GEO permite la toma de decisiones sostenibles para el manejo ambiental. El presente trabajo tiene como objetivo realizar una evaluación ambiental integral con enfoque GEO, de la biodiversidad en las inmediaciones de la Bahía Mariel, Sector A de la Zona Especial de Desarrollo Mariel, aplicando la matriz presión-estado-impacto-respuesta, para promover medidas de sostenibilidad ambiental. Se estableció una red de monitoreo que incluyó principalmente la flora y lepidópteros. Se observó una transformación del paisaje, con pérdida de diversidad biológica y degradación de servicios ecosistémicos debido a presiones asociadas al desarrollo industrial y urbanístico, como el cambio de uso de suelo y la deforestación. Estas presiones provocaron impactos ambientales como fragmentación de hábitats, propagación de especies invasoras y sinantrópicas, disminución de especies autóctonas, y alteraciones en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. Como cambio de estado, los ecosistemas naturales han sido sustituidos por vegetación ruderal y matorrales con alta antropización. Se reporta por primera vez en la Zona Especial de Desarrollo Mariel, la presencia del hemíptero invasor *Crypticerya genistae*. Como respuesta, se proponen medidas de manejo sostenible dirigidas a disminuir presiones, mejorar el estado y mitigar los impactos: fortalecimiento de la planificación estratégica de la biodiversidad, mantenimiento del aporte de agua dulce a los manglares, fomento de jardinería ecológica, control de movimientos de tierra y senderos, adecuada gestión de desechos, refuerzo de vigilancia sanitaria y cuarentena con alerta temprana, seguimiento del monitoreo ambiental y promoción de la educación ambiental entre trabajadores.

**Palabras clave:** matriz presión - estado - impacto - respuesta, GEO, invasiones biológicas, inventario de flora, inventario de mariposas

### ABSTRACT

The comprehensive environmental assessment with a GEO approach enables sustainable decision-making for environmental management. The objective of the present study is to conduct an integrated environmental assessment with a GEO approach of the biodiversity in the vicinity of Mariel Bay, Sector A of the Mariel Special Development Zone, applying the pressure-state-impact-response matrix to promote environmental sustainability measures. A monitoring network was established that focused primarily on flora and lepidopterans. A landscape transformation was observed, with loss of biological diversity and degradation of ecosystem services due to pressures associated with industrial and urban development, such as land-use change and deforestation. These pressures caused environmental impacts such as habitat fragmentation, spread of invasive and synanthropic species, decline of native species, and alterations in the structure and functioning of ecosystems. As a shift in ecological state change, natural ecosystems have been replaced by ruderal vegetation and shrublands with high anthropization.

The invasive hemipteran *Crypticerya genistae* is reported for the first time in the Mariel Special Development Zone. As a response, sustainable management measures are proposed aimed at reducing pressures, improving the state, and mitigating impacts: strengthening strategic biodiversity planning, maintaining freshwater inflow to the mangroves, promoting ecological gardening, controlling land movements and trails creation, adequate waste management, reinforcing sanitary inspection and quarantine with early warning, environmental monitoring follow-up, and promoting environmental education among workers.

**Keywords:** biological invasions, butterfly inventory, flora inventory, GEO, pressure-state-impact-response matrix

---

## INTRODUCCIÓN

La evaluación ambiental integral (EAI) con enfoque GEO (Global Environment Outlook) del Programa de las Naciones para el Medio Ambiente (PNUMA) facilita la gestión y conservación de la biodiversidad frente al cambio climático, al identificar el estado de los recursos, las presiones y los impactos ambientales y proponer respuestas integrales (e.g., [Vázquez-Valencia y García-Almada, 2018](#); [León \*et al.\*, 2022](#)), lo que contribuye a la toma de decisiones en favor del desarrollo sostenible (PNUMA, 2012). La matriz presión - estado - impacto - respuesta (PEIR) facilita la comprensión de las causas y consecuencias de los cambios ambientales y guía la toma de decisiones basadas en evidencia científica (e.g., [Volpedo \*et al.\*, 2011](#); [Arbulu, 2023](#)). En síntesis, la EAI y la matriz PEIR constituyen metodologías que permiten diagnosticar la situación de la biodiversidad, identificar amenazas y diseñar estrategias de conservación y manejo sostenible, fundamentadas en un enfoque sistémico y participativo ([Barranco \*et al.\*, 2013](#); [Bedoya-Jiménez y Chávez, 2023](#)).

Cuba ha aplicado la metodología GEO a nivel nacional en dos ocasiones, la primera se concretó con el Panorama Ambiental de Cuba 2000, posteriormente, se desarrolló GEO Cuba 2007 que representó un avance metodológico y de integración en la gestión ambiental cubana ([Agencia de Medio Ambiente, 2000](#); [2009](#)). Además, se han llevado a cabo EAI en diferentes escalas territoriales, estas incluyen humedales ([Volpedo \*et al.\*, 2011](#)), cuencas hidrográficas ([Rodríguez, 2014](#); [León \*et al.\*, 2019](#); [2022](#)) y municipios ([Alcaide \*et al.\*, 2006](#)). Las EAI con enfoque GEO fortalecen la toma de decisiones sostenible sobre biodiversidad, al integrar evidencia espacial, ecológica y territorial.

La Zona Especial de Desarrollo Mariel (ZEDM) está ubicada en las inmediaciones de la bahía del Mariel, en la provincia de Artemisa, con una posición estratégica como puerto para facilitar el comercio internacional y el desarrollo económico en Cuba. Esta zona está diseñada para fomentar el desarrollo económico sostenible mediante la atracción de inversión extranjera, la innovación tecnológica y la concentración industrial. Su ubicación geográfica en el Caribe la convierte en un punto clave para el comercio internacional ([Quesada-Sotolongo \*et al.\*, 2020](#)). Aunque fue creada con principios de sostenibilidad, puede generar problemas ambientales asociados a su desarrollo industrial y urbanístico. Por otra parte, las acciones antrópicas en el territorio, datan del siglo XVIII. De ahí, el consenso con el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) de ejecutar monitoreos sistemáticos en el Sector A de ZEDM.

No obstante, esta visión enfrenta desafíos concretos en el contexto de presiones crecientes sobre los ecosistemas costeros. Es por ello que el presente trabajo tiene como objetivo realizar una EAI, con enfoque GEO, de la biodiversidad en las inmediaciones de la Bahía Mariel, Sector A de ZEDM, aplicando la matriz PEIR para promover medidas de sostenibilidad ambiental.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La Bahía del Mariel se sitúa en la costa norte de la provincia Artemisa, Cuba, en el municipio del mismo nombre. Es una bahía de bolsa que se caracteriza por su estrecha entrada entre las puntas de Barlovento y Sotavento, con un canal de aproximadamente un kilómetro de largo y costas mayoritariamente rocosas y escarpadas.

León Rodríguez *et al.*: Evaluación ambiental de la biodiversidad en el Mariel

Su relieve incluye terrazas marinas y al sur presenta áreas bajas y cenagosas cubiertas por manglares. Los suelos derivados de depósitos cuarcíticos, consisten en arcillas húmicas carbonáticas y calizas duras y suaves asociadas a marismas y areniscas. La hidrografía está dominada por el río Bongo y sus afluentes y desemboca en la bahía, contribuyendo a la formación de ensenadas. El clima es tropical húmedo, con un período seco entre noviembre y abril y uno húmedo de mayo a octubre, con lluvias máximas en junio y vientos predominantes del noroeste (Álvarez *et al.*, 2007). El sector A de ZEDM, con una extensión de aproximadamente 465 km<sup>2</sup> se halla al Este de la Bahía del Mariel (23. 01220° N, 82. 78042° W) (Fig.1).

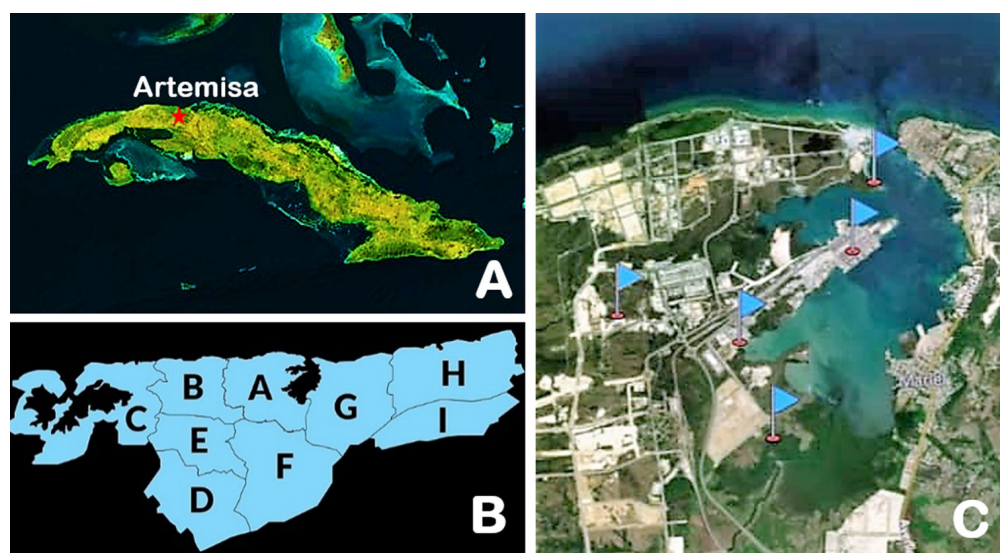
### Diseño de la investigación

Para conocer el estado de la diversidad biológica, se realizaron expediciones de campo desde 2019 hasta 2025, dos veces al año, en la estación de sequía y lluvias, en el sector A de ZEDM en cinco puntos de monitoreo. El monitoreo incluyó composición de la flora, determinación de la abundancia-cobertura de las especies, estado fenológico (flores, frutos), así como la composición de lepidópteros diurnos. Las plantas y los lepidópteros se consideran indicadores ambientales altamente eficientes debido a su sensibilidad ante cambios ecológicos y a su representatividad biológica en diferentes hábitats (Jiménez-González *et al.*, 2019; Juárez-Nima *et al.*, 2024). La determinación de las

especies de plantas y mariposas se realizó en el campo, así como por la consulta del Herbario Nacional “Onaney Muñiz” (HAC) y la Sección de Colecciones Zoológicas del Departamento de Estudios Zoológicos, ambos pertenecientes al Instituto de Ecología y Sistemática, respectivamente.

En los puntos de monitoreo, se hicieron transectos de 1,25 m a ambos lados, para la observación de plantas y mariposas. Para la definición de la abundancia-cobertura de las especies de plantas, se realizaron parcelas de 10 x 2,5 m. Se establecieron clases de acuerdo a la abundancia-cobertura de cada especie: muy bajo (< 5%), bajo (5-24 %), medio (25-49 %), alto (50-74 %) y muy alto (75-100 %). La observación de mariposas se realizó de manera directa y con el uso del jamo entomológico.

También se llevó a cabo un levantamiento de la problemática ambiental, para detectar presiones e impactos. Para la definición de presiones e impactos se consultó Arroyave *et al.* (2006), Perevochtchikova (2013), Enshassi *et al.* (2014), Martínez (2014), Mosquera (2016), Hernández (2018), Calderón (2019), Carter *et al.* (2019), Aldana (2022) y Soria-Rodríguez (2023). En el caso de las respuestas en función de medidas de sostenibilidad se tuvieron en cuenta a Almaguer y Báez (2016), Mac Auliffe y Scagliotti (2019) y Loor y Rivadeneira (2023).



**Figura 1.** Ubicación del Sector A de la Zona Especial de Desarrollo Mariel, provincia Artemisa, Cuba. A. Provincia Artemisa, Cuba. B. Zonificación de la Zona Especial de Desarrollo Mariel. C. Puntos de monitoreo en las inmediaciones de la Bahía del Mariel, Sector A. (A, B: imágenes disponibles en <https://www.zedmariel.com>; C: elaborado por los autores).

**Figure 1.** Location of Sector A, Mariel Special Development Zone, Artemisa province, Cuba. A. Province Artemisa, Cuba. B. Mariel Special Development Zone zoning, C. Monitoring points in the vicinity of Mariel Bay, Sector A. (A, B: images available at site <https://www.zedmariel.com> C: prepared by the authors).

Se realizaron talleres interinstitucionales en colaboración con especialistas y directivos de ZEDM y del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente.

La revisión taxonómica de la flora y la fauna se hizo según [García-Beltrán \*et al.\* \(2024\)](#) y [Mancina \*et al.\* \(2022\)](#), respectivamente. Las formaciones vegetales se tomaron de acuerdo con [Capote y Berazain \(1984\)](#). En el caso de las especies de plantas, los criterios de presencia se tomaron según [García-Beltrán \*et al.\* \(2024\)](#), el sinantropismo de acuerdo con [Ricardo y Herrera \(2017\)](#), la determinación del índice de sinantropismo según [Ricardo \(2016\)](#). La identificación de las especies exóticas invasoras o potencialmente invasoras, se realizó de acuerdo con [Oviedo y González-Oliva \(2015\)](#) y los nombres comunes se tomaron según [Roig \(1988\)](#). Para la cartografía digital se usó Osmand, una aplicación móvil de código abierto que utiliza datos cartográficos de OpenStreetMap (OSM) que es un proyecto colaborativo de mapas libres.

## RESULTADOS

### Estado de la biodiversidad

#### Flora

En el Sector A de ZEDM, se encontró un total de 110 especies de flora, pertenecientes a 34 familias. Las familias mejor representadas fueron Fabaceae, Asteraceae y Poaceae. Las especies exóticas tuvieron 32,73% de representatividad, 14,54% fueron invasoras. Del total de especies 83,64% presentaron flores y frutos ([Anexo 1](#)). El índice de sinantropismo fue 86,36% lo que muestra que el estado de antropización fue alto y la naturalidad muy baja.

#### Vegetación

En el área de estudio se observaron bosques de mangles, matorrales y herbazales secundarios, así como vegetación ruderal. A continuación, se describen dichas formaciones vegetales:

#### Bosques de mangles

Los bosques de mangles, variaron en composición y estructura de acuerdo al grado de antropización que presentaron. Las especies *Laguncularia racemosa* (patabán) y *Avicennia germinans* (mangle prieto) fueron las más frecuentes. En los sitios con alto grado de antropización la cobertura fue de 35% y la altura

media 3,0 m, la regeneración natural fue baja. En las localidades menos afectadas la cobertura fue de 80% y la altura media 6,0 m, la presencia de plántulas en general fue baja, ocasionalmente se hallan signos de herbivoría en *A. germinans*. La especie *Conocarpus erectus* (yana) le sigue en representatividad, cuando está presente la altura media fue de 5,0 m, la cobertura 85% y la regeneración natural, baja. Por otra parte, *Rhizophora mangle* (mangle rojo) se observó escasamente representada, con muy pocos individuos y muy baja regeneración natural.

#### Matorrales secundarios

La vegetación más ampliamente extendida son los matorrales secundarios, donde se aprecian los estratos arbustivo y herbáceo ([Fig. 2](#)). En el estrato arbustivo, con una altura media de 3,0 m y cobertura de 45% predominaron *Leucaena leucocephala*, *Vachellia farnesiana* y *Viguiera dentata*. En el estrato herbáceo la cobertura fue de 70% y la altura promedio de 0,75 m, predominaron las gramíneas *Urochloa maxima* y *Sorghum halepense*. Ocasionalmente se hallaron especies emergentes como *Albizia lebbek* y *Casuarina equisetifolia*. La sinusia de trepadoras estuvo representada fundamentalmente por *Camonea umbellata* e *Ipomoea indica*.

#### Herbazales secundarios

Los herbazales secundarios se hallan dispersos, en la matriz de vegetación secundaria, la altura media del estrato herbáceo fue 0,75 m y la cobertura 85%. Las especies más abundantes son las gramíneas *Sorghum halepense* y *Urochloa maxima*.

#### Vegetación ruderal

La vegetación ruderal está representada tanto en las márgenes de viales principales como en los secundarios. En las márgenes de los viales principales, predominaron las leguminosas arbustivas *L. leucocephala* y *V. farnesiana* con una altura media de 3,0 m y cobertura de 75%. En los viales secundarios, como caminos interiores y trochas se apreciaron elementos arbustivos y herbáceos; abundaron los arbustos *L. leucocephala* y *V. farnesiana* con una altura de 3,0 m y cobertura media de 65%. Las plantas herbáceas mejor representadas fueron las gramíneas *Dichanthium annulatum*, *Chloris barbata* y *Melinis repens*, la fabácea *Macroptilium atropurpureum* y la asterácea *Tridax procumbens*. La cobertura fue de 45% y altura media 0,40 m.



**Figura 2.** Matorrales secundarios en la entrada de la ensenada de Laza (izquierda) y entorno de la Estación Meteorológica (derecha), Sector A de ZEDM. Fotos: María Mercedes León.

**Figure 2.** Secondary scrub at the entrance to Laza Cove (left) and around the Meteorological Station (right), Mariel ZED. Photos: María Mercedes León.

### Fauna

En las inmediaciones de la Bahía Mariel, se encontró un total de 22 especies de mariposas diurnas, pertenecientes a 5 familias y 10 subfamilias. Las familias mejor representadas son HesperIIDae y Nymphalidae. Las especies con mayor número de observaciones son *Anartia jatrophae guantanamo*, *Pyrisitia nise nise* y *Leptotes cassius theonus*, seguidas de *Ascia monuste eubotea*, *Anthanassa frisia frisia* y *Cymaenes tripunctus tripunctus*. Se documentan cuatro especies endémicas *Dryas iulia nudeola*, *Calisto herophile*, *Pyrisitia dina dina* y *Heraclides caiguanabus* (Anexo 2).

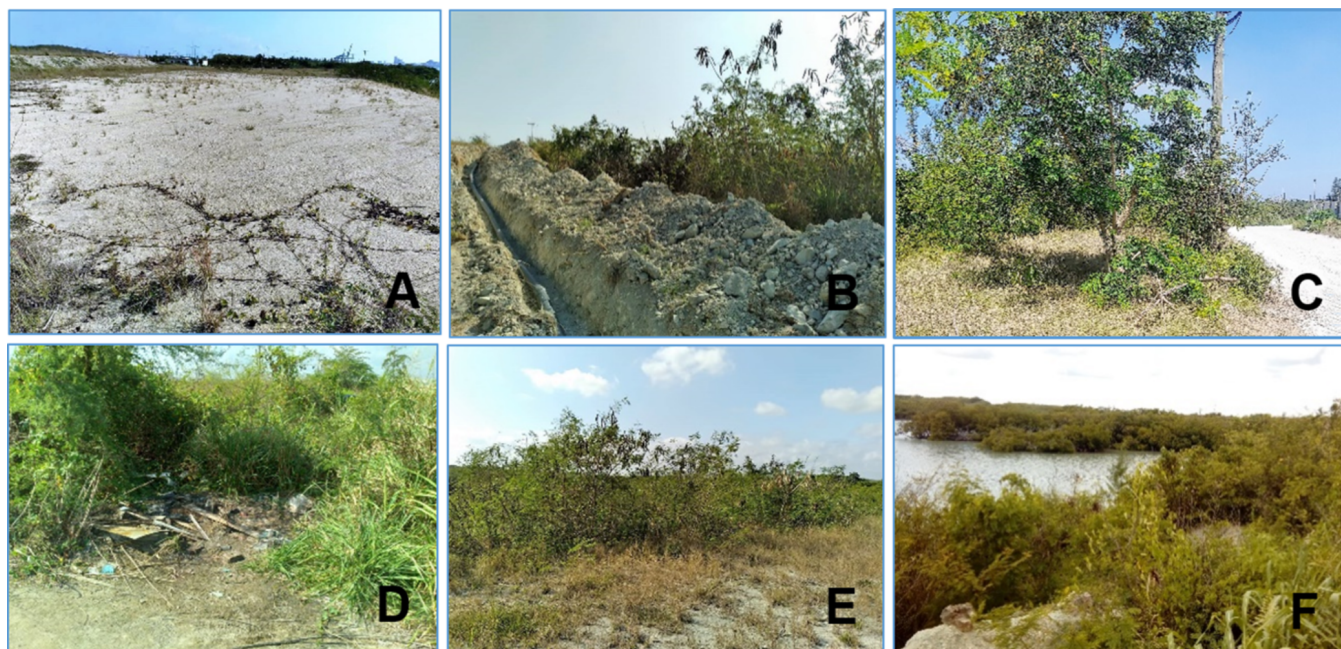
En ZEDM se reporta por primera vez el insecto escama invasor *Crypticerya genistae* (Hemiptera: Monophlebidae). Las plantas hospederas donde se encontró esta especie son las herbáceas *Dichanthium caricosum*, *Desmanthus virgatus*, *Euphorbia hypericifolia* y *Bidens alba*, así como en plántulas de *Leucaena leucocephala* y *Vachellia farnesiana*, que se hallan formando parte del estrato herbáceo.

### Presiones e impactos ambientales

La presión más importante, que afecta a la biodiversidad, en el Sector A de ZEDM es el cambio de uso de suelo para la urbanización. Esto desencadenó otras presiones como movimiento de tierra, deforestación, disposición de áridos de la

construcción en el manglar y vertimiento de desechos sólidos en los matorrales (Anexo 1, Fig. 3). En algunos puntos los manglares se hallan afectados por la disposición de áridos de la construcción que pueden penetrar hasta el agua, lo que propicia el establecimiento de matorrales secundarios sobre sustrato exógeno calcáreo, con invasiones biológicas, lo que provoca afectaciones tanto a los ecosistemas terrestres como marinos. Otro problema ambiental que enfrentan los manglares es la sustitución de la vegetación original que debió estar adyacente al bosque de mangle (e.g., herbazal de ciénaga), por vegetación secundaria. También la fragmentación y el reducido areal, en sitios asimilados para el desarrollo portuario, aunque se ha visto la ubicación de obras de fábrica para garantizar el flujo de agua al manglar.

De forma general, los impactos que se identifican son la fragmentación de los hábitats, propagación de especies invasoras y sinantrópicas, disminución de las poblaciones de especies autóctonas, alteración de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, transformación del paisaje, que provoca pérdida de la diversidad biológica y degradación de los servicios ecosistémicos. Como consecuencia hay un cambio de estado en los ecosistemas naturales con la sustitución de vegetación original por matorrales, herbazales secundarios y vegetación ruderal, con invasiones biológicas, alta antropización y muy baja naturalidad, así como la presencia de manglares con diferente grado de perturbación.



**Figura 3.** Problemas ambientales detectados en las inmediaciones de la Bahía del Mariel. A: Deforestación. B: Movimiento de tierra. C: Matorral secundario sobre sustrato exógeno proveniente de áridos empleados en la construcción del vial. D: Vertimiento de desechos sólidos. E: Presencia de especies invasoras. F: Sustitución de manglar por matorrales secundarios. Fotos: María Tomasa González y María Mercedes León.

**Figure 3.** Environmental problems in the vicinity of Mariel Bay. A: Deforestation. B: Earthworks. C: Secondary scrub on exogenous substrate from aggregates used in vial construction. D: Dumping of solid waste. E: Presence of invasive species. F: Replacement of mangroves with secondary scrub. Photos: María Tomasa González and León María Mercedes León.

También se generan otros impactos que afectan a la biodiversidad como son contaminación por residuales líquidos y sólidos; erosión del suelo por pérdidas de capa vegetal lo que pone en riesgo las poblaciones de especies nativas y la integridad de los ecosistemas. Además, se produce contaminación atmosférica, tanto por la emisión de gases de efecto invernadero como por la generación de partículas y otros contaminantes, que afectan la calidad del aire y la salud humana (Tabla 1).

#### Respuestas para mejorar estado, disminuir presiones y mitigar impactos

Las respuestas identificadas se orientan al manejo sostenible de la biodiversidad, mediante acciones como la planificación estratégica, el mantenimiento del aporte de agua dulce a los manglares intervenidos, la promoción de jardinería ecológica en las instalaciones, y el control de movimientos de tierra que provocan la dispersión de especies invasoras. Asimismo, se proponen medidas para restringir la creación de senderos que intensifiquen la fragmentación del hábitat, mejorar la disposición adecuada de áridos y desechos sólidos en sitios autorizados, reforzar los protocolos sanitarios y de cuarentena ante el transporte marítimo y terrestre, y continuar con el monitoreo

ambiental. Finalmente, se destaca la necesidad de elevar los niveles de educación ambiental mediante la capacitación del personal involucrado. Estas medidas buscan restablecer el equilibrio ecológico del Sector A, reduciendo las presiones antrópicas y favoreciendo la resiliencia de los ecosistemas costeros, con implicaciones para el modelo de desarrollo sostenible de la ZEDM.

## DISCUSIÓN

#### Aplicación de la EAI y análisis PEIR

La aplicación de la EAI en diversos estudios revela una convergencia metodológica orientada al análisis sistémico de las presiones antrópicas y sus efectos sobre la biodiversidad, aunque con diferencias en el uso explícito de la matriz PEIR. En el presente trabajo, se integra plenamente el enfoque GEO y la matriz PEIR, lo que permite una caracterización detallada de las causas antrópicas, los cambios ecosistémicos, los impactos ecológicos y las respuestas estratégicas. Este enfoque integral facilita la identificación de procesos como la sustitución de la vegetación original, la fragmentación del hábitat y la proliferación de especies invasoras, proponiendo medidas de conservación y sostenibilidad.

León Rodríguez *et al.*: Evaluación ambiental de la biodiversidad en el Mariel**Tabla 1.** Matriz presión-estado-impacto-respuesta con enfoque GEO, de la biodiversidad en el Sector A de ZEDM, Artemisa, Cuba.**Table 1.** Pressure-sate-impact-response matrix with a GEO approach, of biodiversity in Sector A de ZEDM, Artemisa, Cuba.

| Estado                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Presión                                                                                                                                                                                                                                  | Impacto                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Respuesta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| El índice de sinantropismo es 86,36%, el estado de antropización es alto y la naturalidad muy baja. Predominan los matorrales secundarios. Los herbazales secundarios se hallan dispersos. Abundan las especies exóticas invasoras y sinantrópicas expansivas. La vegetación ruderal está representada en las márgenes de viales principales y secundarios, con abundancia de especies invasoras. Los bosques de mangles se hallan afectados por la disposición de áridos de la construcción que pueden penetrar hasta el agua, lo que favorece el establecimiento de matorrales secundarios sobre sustrato exógeno calcáreo, con invasiones biológicas. Sustitución de vegetación original por matorrales, herbazales secundarios y vegetación ruderal. Las mariposas más frecuentes son típicas de hábitats perturbados. Se reporta por primera vez para ZEDM el insecto escama invasor <i>Crypticeria genistae</i> . | Cambio de uso de suelo para la construcción de infraestructuras. Movimiento de tierra por acciones de excavación, nivelación del suelo con maquinaria pesada y relleno. Extracción de materiales de construcción (arena, grava, piedra). | Degradación y compactación del suelo. Reducción de la permeabilidad y porosidad del suelo. Afectación de la capacidad de retención de agua y nutrientes. Erosión y pérdida de suelo. Incremento del escurrimiento y transporte de sedimentos. Inestabilidad de taludes y riesgo de deslizamientos. Alteración de la estructura y función del suelo. Agotamiento de recursos naturales. Afectación a la biodiversidad.                                                         | Reducir la remoción y compactación. Limitar el movimiento de maquinaria pesada fuera de las áreas estrictamente necesarias, Aplicación de medidas correctoras durante todas las etapas de la construcción. Control de la erosión. Rescate y conservación del suelo vegetal. Aplicación de medidas de revegetación en áreas afectadas.                                                                                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                          | Modificación de la geomorfología. Alteración del drenaje natural. Modificación de flujos de agua. Afectación de la infiltración. Riesgo de inundaciones o sequías locales. Afectación a los ecosistemas.                                                                                                                                                                                                                                                                      | Implementación de sistemas de drenaje sostenibles como pavimentos permeables, cubiertas vegetales y balsas de retención. Construcción de taludes, hidrosiembra, mallas protectoras y obras para conducir e infiltrar escorrentías superficiales. Control de escorrentías mediante sistemas de retención de sedimentos, vallas filtrantes y canales temporales. Uso de tecnologías que reduzcan el consumo y desperdicio de agua. |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                          | Deforestación.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                          | Destrucción de hábitats. Alteración de redes tróficas. Pérdida de la diversidad biológica.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Realizar Evaluaciones Ambientales Estratégicas (EAE) a los programas que se desarrollan en ZEDM. Contribuir a la conservación y planificación estratégica de la biodiversidad. Integrar criterios técnicos sociales y ambientales para que las compensaciones respondan a criterios de sostenibilidad.                                                                                                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                          | Pérdida de la cobertura vegetal. Incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Reducción de la absorción de CO <sub>2</sub> . Disminución de la calidad del aire. Alteración del clima local. Alteración del ciclo hidrológico. Reducción de la recarga de los acuíferos. Erosión y pérdida de suelo. Pérdida masiva de hábitats. Fragmentación y alteración de ecosistemas. Alteración del microbioma del suelo. Pérdida de la diversidad biológica terrestre. | Limitación del área de intervención. Reforestación y rehabilitación de hábitats. Compensación de pérdida de biodiversidad con la plantación de árboles y recuperación de ecosistemas degradados.                                                                                                                                                                                                                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                          | Incremento de sedimentos que llegan a la bahía, Afectación a la calidad del agua marina. Contaminación del agua. Degradación de los ecosistemas marinos. Pérdida de la diversidad biológica marina. Degradación de los servicios ecosistémicos.                                                                                                                                                                                                                               | Rehabilitación ecológica de manglares que actúan como filtros naturales que atrapan el sedimento. Restauración hidrológica y topográfica, para recuperar los flujos naturales de agua y sedimentos en ecosistemas como los manglares. Combinación de soluciones basadas en la naturaleza y gestión integrada de ecosistemas.                                                                                                     |

León Rodríguez *et al.*: Evaluación ambiental de la biodiversidad en el Mariel

| Estado | Presión                                                                                                                                                                                        | Impacto                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Respuesta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        | Urbanización por construcción de infraestructuras.                                                                                                                                             | Fragmentación de hábitats Alteración de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. Transformación del paisaje. Alteración de procesos ecológicos como la polinización. Interrupción de redes tróficas. Alteración de rutas migratorias y corredores ecológicos. Aislamiento de poblaciones de flora y fauna. Reducción de la capacidad de supervivencia y reproducción de las especies. Disminución de las poblaciones de especies autóctonas Reducción de la diversidad genética de las especies. Pérdida de la diversidad biológica. | Prohibición de creación de trochas, senderos o caminos, que sobredimensionen la fragmentación de los hábitats y la proliferación de especies invasoras y sinantrópicas Planificación y diseño ambientalmente responsable. Integración de espacios verdes y corredores ecológicos en los proyectos de infraestructuras. Rehabilitación o creación de corredores ecológicos y hábitats que conecten áreas fragmentadas por infraestructuras. Uso de materiales sostenibles y locales. Garantizar el aporte de agua dulce a los manglares con obras de fábrica eficientes, en aquellos sitios fragmentados y con tensiones hídricas. Fomentar la jardinería ecológica, en las instalaciones y viales del área. |
|        | Funcionamiento de transporte a través de viales. Transporte accidental de propágulos o semillas, en maquinaria y vehículos. Incremento del flujo humano y mercancías que actúan como vectores. | Propagación de especies exóticas invasoras. Creación de corredores de dispersión. Afectación a poblaciones autóctonas de flora y fauna. Alteración y perturbación de hábitats. Alteración de ciclos hidrológicos y microclima. Afectación de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas.                                                                                                                                                                                                                                                | Prevención y control de vías de introducción. Evitar la introducción y dispersión de especies invasoras. Control en vías de acceso. Cumplimiento del marco legal. Detección temprana y respuesta rápida. Control físico o manual. Control biológico. Rehabilitación ecológica. Mantenimiento del monitoreo ambiental. Fortalecer el programa de inspección, vigilancia sanitaria y de cuarentena a todo tipo de transporte marítimo y terrestre, así como embalajes y mercancías, articulado con el sistema de alerta temprana.                                                                                                                                                                             |
|        | Consumo de combustible fósil por operación de maquinaria pesada y vehículos de transporte. Uso de portadores energéticos.                                                                      | Emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Contribución al calentamiento global y contaminación atmosférica. Afectación a la calidad del aire y la salud de las personas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Uso de tecnologías limpias y mejor gestión de recursos. Implementación de sistemas de aprovechamiento energético eficientes. Fomento del uso de energías renovables y sistemas de almacenamiento de energía para la reducción del consumo de diésel. Mantenimiento preventivo de equipos y maquinarias.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|        | Empleo de hidrocarburos, aceites, pinturas, disolventes y otros materiales químicos.                                                                                                           | Emisión de compuestos orgánicos volátiles. Deterioro de la calidad del aire. Afectación a la salud humana.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Cumplimiento por parte de los trabajadores de procedimientos para la manipulación, almacenamiento y traslado de sustancias químicas. Empleo de equipos de protección personal. Capacitación sobre gestión de riesgos y procedimientos de emergencia. Vigilancia médica periódica.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|        | Movimiento de tierra. Extracción y manipulación de materiales de construcción como cemento, arena y grava.                                                                                     | Generación de polvo y partículas en suspensión a la atmósfera. Emisión de gases contaminantes Reducción de la calidad del aire. Afectación de la salud respiratoria de las personas; afectación a la fauna.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Adopción de medidas de control de emisiones y polvo en las obras.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|        | Generación de altos niveles de ruido por uso de maquinaria pesada.                                                                                                                             | Contaminación acústica. Afectación a la salud y bienestar de las personas. Afectación a la fauna que puede abandonar sus hábitats o sufrir estrés ambiental.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Los trabajadores deben cumplir con controles técnicos y organización del trabajo. Empleo de protectores auditivos certificados. Cumplir con protocolos y normativas nacionales e internacionales que regulan la exposición al ruido en el trabajo. Formación y vigilancia continua de la salud auditiva de los trabajadores.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

León Rodríguez *et al.*: Evaluación ambiental de la biodiversidad en el Mariel

| Estado | Presión                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Impacto                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Respuesta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        | Generación de residuos sólidos de la construcción. Acumulación de escombros y áridos no gestionados. Saturación de vertederos. Vertimiento de residuos en el medio natural. Penetración de áridos de la construcción en la bahía. Vertimiento de residuales líquidos, como aceites, combustibles, en el entorno. Lavado de equipos que genera residuales líquidos con microplásticos, pinturas, yeso y otras sustancias químicas. | Liberación de sustancias tóxicas. Infiltración y contaminación del suelo y agua. Cambios en las propiedades físico-químicas del suelo y agua. Alteración de parámetros como pH y salinidad. Incremento de sólidos suspendidos y sedimentos en el agua de la bahía. Deterioro de la calidad del agua. Degradación de ecosistemas marinos y terrestres. Afectación a la biodiversidad. | Gestión adecuada de residuos sólidos y líquidos. Prohibición de disposición de áridos y desechos sólidos en el manglar y zonas aledañas. Control de la contaminación. Uso de materiales sostenibles, amigables con el medio ambiente. Reutilización y reciclaje de materiales. Evitar derrame de hidrocarburos y otros contaminantes. |
|        | Insuficiente cultura ambiental.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Pérdida de la diversidad biológica y degradación de los servicios ecosistémicos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Elevar la Educación Ambiental mediante capacitación y concienciación de los trabajadores. Capacitar al personal en buenas prácticas ambientales.                                                                                                                                                                                      |

En contraste, otros estudios como los de [Bedolla-Solano \*et al.\* \(2024\)](#), [Carrillo-Hernández \(2021\)](#) y [Velásquez y Armas \(2013\)](#) aplican la EAI sin recurrir explícitamente la matriz PEIR, aunque incorporan sus componentes conceptuales. [Bedolla-Solano \*et al.\* \(2024\)](#) abordan la biodiversidad desde una perspectiva socioambiental, identificando presiones como la agricultura y la construcción, y reconociendo impactos como la pérdida de hábitats, aunque con limitaciones en la implementación de respuestas debido a la escasa cultura ambiental local. [Carrillo-Hernández \(2021\)](#), por su parte, analiza el Corredor Biológico Mesoamericano mediante una metodología mixta que incluye indicadores y participación comunitaria, destacando la contribución del corredor a la conectividad ecológica, pero también los desafíos institucionales y financieros que limitan su sostenibilidad. [Velásquez y Armas \(2013\)](#) proponen una metodología para construir indicadores de desarrollo sostenible, incorporando variables compatibles con la matriz PEIR, aunque sin abordar de forma específica la biodiversidad, lo que restringe la profundidad del análisis ecológico.

Por otro lado, los trabajos de [Reyes y Volpedo \(2013\)](#), [León \*et al.\* \(2022\)](#) y [Bedoya-Jiménez y Chávez \(2023\)](#) sí emplean explícitamente la matriz PEIR o sus variantes, lo que permite una mayor precisión en la identificación de las presiones, impactos y respuestas. [Reyes y Volpedo \(2013\)](#) utilizan el enfoque GEO del PNUMA para analizar ecosistemas degradados en Iberoamérica, evidenciando presiones como la expansión agrícola y la contaminación, con impactos severos como la eutrofización y la pérdida de hábitats clave, y proponiendo respuestas orientadas a la restauración ecológica. [León \*et al.\* \(2022\)](#) aplican la matriz PEIR en la cuenca Altamira-Durán, identificando presiones como la deforestación

y los incendios forestales y proponiendo medidas de reforestación y participación comunitaria para favorecer la resiliencia ecosistémica. [Bedoya-Jiménez y Chávez \(2023\)](#), aunque emplean el modelo PER complementado con elementos de impacto, logran identificar transformaciones críticas en el humedal Tiacuante, proponiendo indicadores estratégicos para su restauración y conservación.

En conjunto, los estudios revisados coinciden en la utilidad de la EAI como herramienta para comprender las dinámicas socioecológicas que afectan la biodiversidad, aunque difieren en el grado de formalización metodológica y en la profundidad del análisis. El presente trabajo aplicado a ZEDM evidencia que el uso explícito de la matriz PEIR, junto con el enfoque GEO, potencia el diagnóstico y la formulación de respuestas efectivas, lo que sugiere la necesidad de fortalecer su aplicación en futuros estudios para orientar la gestión ambiental hacia la sostenibilidad y conservación de los ecosistemas.

Estado de la biodiversidad y su impacto ecológico

En el análisis del estado del sector A de ZEDM se aprecia alta abundancia-cobertura de las leguminosas *Leucaena leucocephala* y *Vachellia farnesiana*, las gramíneas *Urochloa maxima* y *Sorghum halepense* y la asterácea *Viguiera dentata* ([Anexo 1](#)). A continuación, se mencionan aspectos que explican esta abundancia: *L. leucocephala* es un arbusto o árbol pequeño, nativo de América del Norte y América Central ([García-Beltrán, 2024](#)), figura entre las 100 peores especies exóticas invasoras del mundo ([Kato-Noguchi y Kurniadie, 2022](#)). Se ha naturalizado ampliamente en zonas tropicales, subtropicales y templado-cálidas y ha sido declarada una especie invasora en América,

África tropical, Asia y Oceanía (Vossler y Delucchi, 2022; Bakewell-Stone, 2023) así como en las Antillas Mayores, Antillas Menores, Bahamas e Islas Cayman (García-Beltrán, 2024), está amenazando en particular la biota de las islas (Vossler y Delucchi, 2022), y coloniza agresivamente la vegetación secundaria o alterada (Idol, 2019; Bakewell-Stone, 2023). En Cuba también se halla entre las especies invasoras más nocivas (Oviedo y González-Oliva, 2015) y se encuentra en todas las provincias, en diversidad de formaciones vegetales (García-Beltrán, 2024). En el área de estudio, se halla entre las especies predominantes del estrato arbustivo en matorrales secundarios y domina las márgenes de los viales principales y caminos secundarios formando parte de la vegetación ruderal. *L. leucocephala* puede producir grandes cantidades de semillas, tiene rápida tasa de crecimiento, es resistente a la sequía, se adapta eficazmente a diferentes condiciones climáticas y edafológicas (Eleutério *et al.*, 2023), puede competir efectivamente con las especies nativas, alterando los ecosistemas locales (Ferreira y Carvalho, 2021). Por tanto, resulta una especie con alta prioridad de control y manejo sistemático en el área de ZEDM.

La leguminosa *Vachellia farnesiana* es un arbusto o pequeño árbol nativo del Neotrópico y naturalizado en el Viejo Mundo según García-Beltrán (2024). Se introduce en muchas áreas de los trópicos y subtrópicos y fuera de su área de distribución natural se comporta como una especie invasora (Erkovan *et al.*, 2016), está aumentando en densidad y distribución y es difícil su control (Cavalcante y Cox, 2016). En Cuba se considera una invasora nociva por Oviedo y Gómez-Oliva (2015) y como nativa por García-Beltrán (2024), Ricardo y Herrera (2017) la consideran una extrapófita secundaria y una de las malezas más comunes del archipiélago cubano. García-Beltrán (2024) refiere que se halla en todas las provincias de Cuba y el municipio especial Isla de la Juventud, en diversidad de formaciones vegetales. En el área de estudio es una especie muy abundante, junto a *L. leucocephala*, en matorrales secundarios y vegetación ruderal, lo que coincide con Ricardo y Herrera (2017) que refieren que *V. farnesiana* es una especie dominante, heliófila obligada, abundante en áreas ruderales. *V. farnesiana* puede crecer en suelos pobres y tolera condiciones de sequía (Magaña *et al.*, 2023) lo que le permite prosperar en áreas con recursos limitados. Al ser una leguminosa forma simbiosis con rizobacterias (Vega *et al.*, 2023) lo que le posibilita fijar nitrógeno atmosférico, mejorando la fertilidad del

suelo y su propio crecimiento. Posee capacidad de producir semillas que pueden germinar en diferentes condiciones, además puede competir efectivamente con otras especies (Valdés-Alameda *et al.*, 2023) lo que facilita su expansión.

Las gramíneas *Urochloa maxima* y *Sorghum halepense*, son especies exóticas invasoras transformadoras para los ecosistemas en Cuba (Oviedo y Gómez-Oliva, 2015). Ambas son nativas del Viejo Mundo y se encuentran naturalizadas en las Antillas Mayores, Antillas Menores, Bahamas, Islas Cayman, América del Norte, América del Sur, y también en América Central. *U. maxima* se halla distribuida en todas las provincias de Cuba, en áreas deforestadas o alteradas de bosques semideciduos y siempreverdes, en complejos de vegetación de mogotes y costa arenosa, así como en vegetación secundaria y ruderal. *S. halepense* se encuentra en las provincias de Artemisa, Habana, Mayabeque, Matanzas, Ciego de Ávila, Holguín, Granma y Guantánamo, en vegetación secundaria, según Catasús (2024). En el área de estudio, estas dos especies predominan en el estrato herbáceo y se les encuentra formando parte de los matorrales secundarios y vegetación ruderal. *U. maxima*, produce gran cantidad de biomasa (Reis *et al.*, 2024), presenta rápido crecimiento (Luz *et al.*, 2002; Reis *et al.*, 2024), puede sobrevivir en condiciones de sequía y otros estresores ambientales (Ramírez Reynoso *et al.*, 2011), además puede colonizar áreas degradadas (Luz *et al.*, 2002). Por su parte *S. halepense*, tiene una alta capacidad de propagación, ya que puede reproducirse tanto por semillas como por rizomas y tiene rápido crecimiento (Rodríguez, 1999).

La asterácea *Viguiera dentata* es un arbusto nativo de América del Norte (Gómez-Hechavarría, 2024) crece principalmente en vegetación secundaria y se ve favorecida por la perturbación ya sea antropogénica o natural (Tapia, 2012); en Cuba se halla en todas las provincias, en bosques, matorrales y sabanas antrópicas, tanto naturales, como secundarios (Gómez-Hechavarría, 2024); y se considera una especie invasora transformadora para los ecosistemas en Cuba (Oviedo y Gómez-Oliva, 2015). En el área de estudio *V. dentata* es muy abundante en matorrales secundarios y espacios abiertos, formando parches monoespecíficos, lo que coincide con Enríquez-Nolasco *et al.* (2022) que refiere que esta especie puede prosperar en vegetación secundaria y áreas de cultivo abandonadas.

El insecto escama fitófago *Crypticerya genistae* (Hemiptera: Monophlebidae) presenta varias características biológicas que le permiten convertirse en plaga: es una escama acanalada polífaga, que se alimenta de la savia de diversas plantas hospedantes. Las hembras adultas tienen un ovisaco largo y ceroso (13-20 mm) que preserva los huevos y facilita la dispersión, además de un cuerpo cubierto por una capa de cera blanca que lo protege de depredadores y condiciones ambientales adversas. Presenta dimorfismo sexual y una alta capacidad reproductiva. Su ciclo biológico incluye varios estadios ninfales y adultos, con la capacidad de mantener poblaciones en diferentes estadios simultáneamente. Es capaz de infestar una gran variedad de plantas y se ha registrado en numerosos países del Neotrópico. Las infestaciones pueden ser altas, los daños visibles son hojas amarillentas y debilitamiento general de la planta (Kondo *et al.*, 2014; Delgado-Jiménez y Espinoza-Lozano, 2021; Arias de López *et al.*, 2022; Castillo-Carrillo *et al.*, 2024). Mestre *et al.* (2016) registran la especie, por primera vez para Cuba, en sitios de las playas al este de La Habana y en el poblado de Guanabo. Su actual registro en el área de estudio constituye una alerta de que continúa invadiendo ecosistemas costeros, ampliando su rango de distribución en Cuba.

En el Sector A de ZEDM, junto con el predominio de especies vegetales exóticas, la composición de mariposas diurnas refleja una comunidad faunística adaptada a ambientes antropizados. Las especies de mariposas diurnas con mayor frecuencia de aparición fueron *Anartia jatrophae guantanamo*, *Pyrisitia nise nise* y *Leptotes cassius theonus*. La subespecie *Anartia jatrophae guantanamo*, presente en el sur de Estados Unidos, Bahamas y Cuba, muestra amplia distribución en el nuestro país, siendo frecuente en pastizales, jardines y bordes de bosques (Núñez *et al.*, 2022). Por su parte, *Pyrisitia nise nise*, distribuida en el sur de Florida (EE. UU.), Bahamas, Jamaica y Cuba, es muy común en jardines, herbazales y matorrales (Fontenla *et al.*, 2022). Asimismo, *Leptotes cassius theonus*, con distribución en Florida, Bahamas, Islas Cayman y Antillas Mayores, se encuentra ampliamente distribuida en Cuba y es común en pastizales y hábitats similares (Barro *et al.*, 2022). La alta frecuencia de estas subespecies en hábitats como pastizales, jardines y matorrales sugiere que funcionan como bioindicadores de transformación ambiental, predominando en contextos con intervención humana.

La adaptabilidad de estas especies a entornos modificados indica una simplificación ecológica del ensamble faunístico, donde predominan mariposas generalistas con alta tolerancia a disturbios, en detrimento de especies especialistas.

### Presiones e impactos ambientales

Los ecosistemas costeros del Sector A de ZEDM se enfrentan a presiones ambientales que reflejan patrones comunes en regiones tropicales urbanizadas del Caribe y América Latina, donde el crecimiento urbano y portuario compromete la integridad ecológica. Los impactos ambientales más frecuentes en ecosistemas costeros afectados por la urbanización, de acuerdo con Román (2022), incluyen la pérdida de hábitats costeros, erosión costera y vulnerabilidad a eventos extremos, sedimentación y contaminación, alteración de la calidad del agua, como consecuencia de la escorrentía urbana y los impactos sobre la biodiversidad marina y terrestre.

En los manglares, las presiones de urbanización, tala, contaminación y cambio de uso de suelo, abren espacios para las invasiones biológicas (Rodríguez *et al.*, 2014; Rendón-Hernández *et al.*, 2024). En el municipio Guamá en Cuba, la construcción de muelles y asentamientos humanos ha generado tala, relleno y contaminación de manglares (Cruz y Pérez, 2017). En la región del Gran Caribe, incluyendo México, Belice, Guatemala y Honduras, la urbanización junto a otras presiones como la acuicultura y agricultura han causado una reducción de manglares, con una pérdida del 24% de su superficie en 25 años según Teutli-Hernández *et al.* (2021). En las reservas de la biosfera Ría Celestún y Ría Lagartos en México, se han documentado especies invasoras que desplazan la vegetación nativa de manglar; estas invasiones se asocian a presiones como la construcción de carreteras y turismo que provocan fragmentación del hábitat (Rendón-Hernández *et al.*, 2024).

El movimiento de tierra, como ocurre en actividades de la construcción de infraestructuras, actúa como catalizador de invasiones biológicas mediante mecanismos interconectados que favorecen el transporte involuntario de propágulos (semillas, esporas, fragmentos de raíces), establecimiento e invasión de especies exóticas. La perturbación del suelo genera condiciones favorables para la germinación de especies invasoras, ya que elimina la vegetación nativa y reduce la competencia,

León Rodríguez *et al.*: Evaluación ambiental de la biodiversidad en el Mariel

facilitando que los propágulos transportados encuentren nichos disponibles para colonizar. La maquinaria utilizada en el movimiento de tierra, puede transportar semillas adheridas a sus superficies o mezcladas en el sustrato desplazado, permitiendo que especies invasoras se dispersen a nuevas áreas, muchas veces a grandes distancias. La construcción de caminos y otras infraestructuras lineales no sólo fragmentan hábitats, sino que también actúan como corredores de dispersión para especies invasoras, al facilitar el movimiento de suelo y propágulos a lo largo de trayectorias artificiales (Hodkinson y Thompson, 1997; D'Antonio y Meyerson, 2002; Von der Lippe y Kowarik, 2007). En conjunto, estas prácticas constructivas no solo aceleran la fragmentación del paisaje, sino que operan como mecanismos activos de dispersión biológica, facilitando la colonización de especies exóticas en hábitats vulnerables.

La fragmentación y alteración de ecosistemas costeros por urbanización favorecen la colonización de plantas heliófilas invasoras que sustituyen la vegetación nativa en dunas y matorrales costeros de regiones tropicales y subtropicales (Challenger *et al.*, 2009). En Cuba la alta vulnerabilidad ecológica y la fragmentación por el desarrollo humano facilitan la invasión de especies exóticas, las cuales impactan negativamente la biodiversidad nativa y los servicios ecosistémicos (Rodríguez *et al.*, 2014). La presencia de especies invasoras y potencialmente invasoras, en ecosistemas costeros se observa como presiones en dunas arenosas de la playa de Guanabo, Cuba (Ricardo *et al.*, 2021) y en ecosistemas de manglar y matorrales costeros afectados por perturbaciones humanas en México (Brooks y Figueredo, 2015). En ecosistemas costeros fragmentados de Europa, como en áreas del Mediterráneo y la costa atlántica, la fragmentación favorece la entrada y establecimiento de especies invasoras, que se benefician de los bordes y áreas perturbadas generadas por la urbanización (González-Moreno *et al.*, 2015). Estos hallazgos reafirman que el Sector A de ZEDM comparte desafíos ecológicos estructurales con contextos nacionales e internacionales igualmente expuestos a la presión urbanística. El cambio de uso de suelo, como la urbanización en zonas costeras, destruye o modifica los ecosistemas nativos, la fragmentación del hábitat y la pérdida de cobertura vegetal autóctona crean condiciones propicias para que especies exóticas se establezcan (Ramos-Reyes *et al.*, 2021).

La alta antropización del Sector A de ZEDM, junto a la presencia dominante de especies invasoras, representa un desafío crítico para la conservación ecosistémica. La aplicación del enfoque GEO ha permitido construir un diagnóstico integral y proponer acciones adaptativas para restaurar la funcionalidad ecológica del área y la resiliencia de los ecosistemas costeros.

## CONCLUSIONES

La Evaluación Ambiental Integral (EAI), con enfoque GEO, ha demostrado ser una herramienta útil para diagnosticar y gestionar la biodiversidad en territorios sometidos a intensas presiones antrópicas, como es el caso del Sector A de la Zona Especial de Desarrollo Mariel (ZEDM). Este enfoque permitió identificar de forma sistemática las presiones predominantes como urbanización, movimientos de tierra, deforestación, disposición inadecuada de áridos y vertimiento de desechos sólidos, y sus efectos sobre la estructura y funcionalidad ecológica del área. Los impactos derivados incluyen fragmentación de hábitats, proliferación de especies invasoras y sinantrópicas, disminución de especies autóctonas, alteraciones en los servicios ecosistémicos y una transformación profunda del paisaje. Como resultado, se ha registrado un cambio de estado en los ecosistemas naturales, con la sustitución de la vegetación original por matorrales, herbazales secundarios y vegetación ruderal, caracterizados por altos niveles de antropización y muy baja naturalidad. En este contexto, se documentó por primera vez la presencia del hemíptero invasor *Crypticerya genistae*, lo que refuerza la urgencia de implementar medidas correctivas. Las respuestas propuestas se orientan al manejo sostenible de la biodiversidad e incluyen: planificación estratégica, mantenimiento del aporte de agua dulce a los manglares, fomento de jardinería ecológica, regulación del movimiento de tierra, restricción de la creación de senderos que exacerben la fragmentación, disposición adecuada de áridos y residuos sólidos, fortalecimiento de la vigilancia sanitaria y cuarentena, continuidad del monitoreo ambiental y promoción activa de la educación ambiental entre los trabajadores. En conjunto, estas acciones resultan esenciales para restaurar la funcionalidad ecológica del sector y fortalecer la resiliencia de los ecosistemas costeros de ZEDM, en consonancia con los principios del desarrollo sostenible.

## AGRADECIMIENTOS

Al servicio de monitoreo ambiental “Acciones Prioritarias Tarea Vida. ZEDM, Municipio Mariel, provincia Artemisa”. A Ilsa Fuentes Marrero por la revisión crítica del manuscrito. A Lorenzo Morgado León por la cartografía digital. A los árbitros anónimos y consejo editorial de la revista.

## LITERATURA CITADA

- Agencia de Medio Ambiente. 2000. *Panorama ambiental de Cuba 2000*. CITMA/PNUMA, La Habana.
- Agencia de Medio Ambiente. 2009. GEO Cuba 2007: *Evaluación del medio ambiente cubano 2000-2007*. CITMA/PNUMA, La Habana.
- Alcaide J, Jaimez E, Olivera J, Valdés G, Díaz JR, De Terán M, *et al.* 2006. Sistema de indicadores para la evaluación de la calidad ambiental del municipio Bauta, La Habana, Cuba. *Universidad Ciencia y Tecnología*. 10 (NE 41): 263-268.
- Aldana MI. 2022. Biodiversidad y áreas naturales protegidas en la Evaluación de Impacto Ambiental: avances y temas pendientes. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*. 9: 34-55.
- Almaguer AE, Báez NR. 2016. La prevención, manejo y control de especies exóticas invasoras. *Revista Boletín Redipe*. 5: 103-108.
- Álvarez O, Gómez J E, Miranda L, Díaz I R, Guerra M. 2007. Mapa preliminar del Índice Sensibilidad Ambiental en el municipio Mariel, en la franja costera noroccidental de Cuba. En: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoramento Remoto, Florianópolis, Brasil (21-26 abril de 2007).
- Arbulu EPR. 2023. Modelo holístico para la gestión ecosistémica del parque turístico agropecuario del área metropolitana de Chiclayo. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Arias de López M, Molina-Moreira N, Herrera I, Rizzo K, Velásquez-Vinces JA, Chirinos DT, *et al.* 2022. First record of two invasive species of *Crypticerya* (Hemiptera: Monophlebidae) causing outbreaks in urban green areas of Guayas Province, Ecuador. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 23: e2890.
- Arroyave MP, Gómez C, Gutiérrez ME, Múnera DP, Zapata PA. 2006. Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. *Revista EIA*. 5: 45-47
- Bakewell-Stone, P. 2023. *Leucaena leucocephala* (leucaena). CABI Compendium.
- Barranco G, Fernández Reyes L, Volpedo A, Buitrago Borrás J, Labrada Pons M, Colonnello G. 2013. Los indicadores para la evaluación ambiental integral de ecosistemas acuáticos como asunto clave en materia de ecosistemas degradados: Informe del Proyecto “Desarrollo de metodologías, indicadores ambientales y programas para la evaluación ambiental integral y la restauración de ecosistemas degradados”. del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (Red 411RT0430), Buenos Aires.
- Barro A, Loiz C, Fernández DM, Núñez R, Mancina CA. 2022. Lycanidae. En: Mancina CA, Núñez R, Neyra B. (eds.), *Mariposas de Cuba, guía de campo*, 100-115, Editora AMA, La Habana.
- Bedolla-Solano R, Bedolla-Solano JJ, Bedolla-Solano S, Miranda-Esteban A. 2024. Análisis de la biodiversidad desde una perspectiva socioambiental en Las Vigas, Guerrero, México. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*. 14: e649.
- Bedoya-Jiménez D, Chávez T. 2023. Aplicación del modelo PER (presión, estado y respuesta) en la ciénaga de Tiacuante o el conchal, perteneciente al Departamento del Valle del Cauca. Tesis de Ingeniería Ambiental. Unidad Central del Valle del Cauca. Facultad de Ingeniería Programa de Ingeniería Ambiental, Tuluá.
- Brooks RM, Figueredo LM. 2015. Especies vegetales invasoras de las terrazas costeras de la reserva de la Biosfera Baconao, Cuba. *Foresta Veracruzana*. 17: 1-10.
- Calderón WR. 2019. Evaluación del Impacto Ambiental sobre la biodiversidad del suelo causado por un incendio forestal en la provincia de Jaén, 2019. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Jaén, Andalucía.
- Capote RP, Berzaín R. 1984. Clasificación de las formaciones vegetales de Cuba. *Revista del Jardín Botánico. Nacional*. 5: 27-75.
- Carrillo-Hernández AC. 2021. Efectividad de la gestión del Corredor Biológico Mesoamericano en México. Tesis de Maestra. El Colegio de la Frontera Sur. ECOSUR, Chiapas.
- Carter V, Henríquez C, Bruna C. 2019. Aportes y desafíos del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) a la conservación de la biodiversidad en Chile. *Investigaciones Geográficas*. 72: 9-29.

- Castillo-Carrillo PS, Díaz-Burga W, Cornejo-Hidalgo RE. 2024. Registro de *Crypticerya genistae* (Hempel) (Hemiptera: Monophlebidae) en Tumbes, Perú. *Manglar*. 21: 377-381.
- Catasús L. 2024. Poaceae. En: GEPC. Catálogo de las Plantas de Cuba. Planta! - Plantlife Conservation Society, Vancouver.
- Cavalcante AMB, Cox RD. 2016. *Acacia farnesiana* (L) Wild. A potentially invasive exotic species? *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*. 42: 209-215.
- Challenger A, Dirzo R, López JC, Mendoza E, Noriega L. 2009. Factores de cambio y estado de la biodiversidad. *Capital Natural de México*. 2: 37-73.
- Cruz Y, Pérez O. 2017. Evaluación de impactos a la salud del manglar en el municipio Guamá, Santiago de Cuba, Cuba. *Madera y Bosques*. 23: 23-37.
- D'Antonio CM, Meyerson LA. 2002. Exotic plants species as problems and solutions in ecological restoration: A synthesis. *Restoration Ecology*. 10: 703-713.
- Delgado-Jiménez JA, Espinoza-Lozano L. 2021. Uso de insectos nativos en el control biológico de las cochinillas algodonosas presentes en las plantas ornamentales de la ciudad de Guayaquil. Tesis de Doctorado. ESPOL. FCV, Ecuador.
- Eleutério WJ, Lacorte GA, Suzuki LPZL, Duarte NF. 2023. Análise de invasão biológica e uso de diferentes metodos de controle de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. *Revista Agroecossistemas*, 15: 67-84.
- Enríquez-Nolasco JR, López-Castilla HMJ, Cetzalix W. 2022. Multiusos de *Viguiera dentata* (Asteraceae) y su importancia para la elaboración de fuegos pirotécnicos. *Desde el Herbario CICY*. 14: 22-28.
- Enshassi A, Kochendoerfer B, Rizq E. 2014. Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. *Revista Ingeniería de Construcción*. 29: 234-254.
- Erkovan HI, Clarke PJ, Whalley RDB. 2016. A review on the overview of *Vachellia farnesiana* (L) Wight & Arn. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 47: 71-76.
- Ferreira LMP, Carvalho LCDSCS. 2021. Invasão biológica: o caso da espécie *Leucaena leucocephala* (Lam.) De wit. na área de proteção permanente no município de Barra Mansa, Rio de Janeiro. *Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente*. 2: 26-26.
- Fontenla JL, Fontenla Y, Norris T, Fernández DM, Núñez R, Mancina CA. 2022. Pieridae. En: Mancina CA, Núñez R, Neyra B. (eds.), *Mariposas de Cuba, guía de campo*, 69-94, AMA, La Habana.
- García-Beltrán JA. 2024. Fabaceae. En: GEPC. Catálogo de las Plantas de Cuba. Planta! - Plantlife Conservation Society, Vancouver.
- García-Beltrán JA, Bécquer ER, Gómez-Hechavarría JL, González-Torres LR. 2024. Catálogo de las Plantas de Cuba. Planta! - Plantlife Conservation Society, Vancouver. <https://doi.org/10.70925/cat.2024>.
- Gómez-Hechavarría JL. 2024. Asteraceae. En: GEPC. Catálogo de las Plantas de Cuba. Planta! - Plantlife Conservation Society, Vancouver.
- González-Moreno P, Delgado JD, Vila M. 2015. Una visión a escala de paisaje de las invasiones biológicas. *Ecosistemas*. 24: 84-92.
- Hernández A. 2018. Impacto de la contaminación atmosférica en las edificaciones patrimoniales de La Habana, Cuba. Efectos para un futuro cambio climático. *Revista Ingeniería de Construcción*. 33: 219-228.
- Hodkinson DJ, Thompson K. 1997. Plant dispersal: The role of man. *Journal of Applied Ecology*. 34: 1484-1496.
- Idol T. 2019. A short review of *Leucaena* as an invasive species in Hawaii. *Tropical Grasslands-Forrajeros Tropicales*. 7: 290-294.
- Jiménez-González A, Macías Egas ÁF, Ramos Rodríguez MP, Tapia Zúñiga MV, Rosete Blandariz S. 2019. Indicadores de sostenibilidad con énfasis en el estado de conservación del bosque seco tropical. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*. 7: 197-211.
- Juárez-Nima EJ, Castillo-Carrillo PS, Lamas G. 2024. Riqueza de especies de mariposas (Lepidoptera: Papilionoidea) en un área de bosque tropical en Zarumilla, Tumbes, Perú. *Manglar*. 21: 347-358.
- Kato-Noguchi H, Kurniadie D. 2022. Allelopathy and allelochemicals of *Leucaena leucocephala* as an invasive plant species. *Plants*. 11: 1672.
- Kondo T, Becerra CG, Quintero EM, Manrique MB. 2014. Distribución y niveles de infestación de *Crypticerya multicatrices* Kondo y Unruh (Hemiptera: Monophlebidae) en la isla de San Andrés. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 15: 63-72.
- León MM, Díaz L, Lao B, García T. 2022. Evaluación ambiental integral de la biodiversidad ante el cambio climático, cuenca hidrográfica Altamira-Durán, Cuba. *Acta Botánica Cubana*. 221: <https://cu-id.com/2402/v221e13>.

- León MM, Lao B, Abad I. 2019. Evaluación Ambiental Integral de los recursos hídricos en la cuenca hidrográfica Altamira-Durán, Camagüey, Cuba. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*. Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/04/recursos-hidricos-cuba.html>. (consultado: mayo de 2024).
- Loor I, Rivadeneira L. 2023. Infraestructura verde como infraestructura informal un cambio de perspectiva necesario. *Estudios Demográficos y Urbanos*. 38: 501-533.
- Luz PHDC, Herling VR, Braga GJ, Vitti GC, Lima CGD. 2002. Tipos e doses de calcário nas características agrônômicas de *Panicum maximum* Jacq. cv. Tobiatã em função dos métodos de aplicação. *Scientia Agricola*. 59: 155-159.
- Mac Auliffe F, Scagliotti JP. 2019. Enfoque por ecosistemas en las medidas de compensación de biodiversidad en el marco del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. *Revista de Derecho Ambiental*. 12: 161-187.
- Magaña JEM, Anchondo MEG, Gómez MIT, Guerrero MDRB. 2023. Caracterización de la goma de mezquite (*Prosopis* spp.) vs huizache (*Vachellia farnesiana*) de la Región de Naica, Saucillo, Chihuahua. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*. 11: 6-17.
- Mancina CA, Núñez R, Neyra B. 2022. *Mariposas de Cuba. Guía de campo*. Editorial AMA, La Habana.
- Martínez W. 2014. Evaluación del impacto ambiental en obras viales. *Negotium: Revista de Ciencias Gerenciales*. 10: 5-21.
- Mestre N, Fontenla JL, Kondo T, Álvarez A, Cuervo Z. 2016. *Crypticerya genistae* Hempel (Hemiptera: Monophlebidae) nuevo registro de insecto escama invasor para Cuba. *Fitosanidad*. 20: 85-92.
- Mosquera WE. 2016. Análisis de la gestión ambiental en las vías 4G en construcción en Colombia. *Revista Ontare*. 4: 31-66.
- Núñez R, Neyra B, Caballero H, Fernández DM, Norris T, Mancina CA. 2022. Nymphalidae. En: Mancina CA, Núñez R, Neyra B. (eds.), *Mariposas de Cuba, guía de campo*, 117-165, Editorial AMA, La Habana.
- Oviedo R, González-Oliva L. 2015. Lista nacional de plantas invasoras y potencialmente invasoras en la República de Cuba-2015. *Bissea*: 9 (NE 2).
- Perevochtchikova M. 2013. La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y Política Pública*. 22: 283-312.
- PNUMA-Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 2012. Evaluaciones Ambientales Integrales. Disponible en: <http://www.pnuma.org/deat1/evaluacionesambientales.html>. (consultado: mayo de 2025).
- Quesada-Sotolongo M, González-Pérez M, García-Valdés H. 2020. Impacto de la Zona Especial de Desarrollo Mariel en la Empresa de Construcción y Montaje. *Cooperativismo y Desarrollo*. 8: 508-525.
- Ramírez Reynoso O, Silva SCD, Hernández Garay A, Enríquez Quiroz JF, Pérez Pérez J, Quero Carrillo AR, *et al.* 2011. Rebrote y estabilidad de la población de tallos en el pasto *Panicum maximum* cv.'mombaza' cosechado en diferentes intervalos de corte. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 34: 213-220.
- Ramos-Reyes R, Megía-Vera, H J, Landeros-Pascual, D. 2021. Modelo del cambio de uso de suelo en el sistema lagunar Carmen-Pajonal-Machona, México. *Terra Latinoamericana*. 39: e587.
- Reis MB, Araújo LC, dos Santos LC, da Silva AM, de Lacerda Ribeiro A, Silva JVS. 2024. Influência dos dias de corte e níveis de adubação nitrogenada nas características morfológicas no *Panicum maximum* cv. Mombaça e cv. Paredão. *Caderno Pedagógico*. 21: e9719.
- Rendón-Hernández E, Ayala-Pérez LA, Golubov J, Torres-Lara R. 2024. Especies exóticas invasoras y sus implicaciones sobre los bosques de manglar en las reservas de la biosfera Ría Celestún y Ría Lagartos. *Madera y Bosques*. e3042627.
- Reyes L F, Volpedo A V .2013. Evaluación de los cambios de estado en ecosistemas degradados de Iberoamérica. Informe del Proyecto “Desarrollo de metodologías, indicadores ambientales y programas para la evaluación ambiental integral y la restauración de ecosistemas degradados” del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (Red 411RT0430), Buenos Aires.
- Ricardo NE. 2016. Indicadores ecológicos que evalúan el estado de antropización - conservación de las formaciones vegetales, ecosistemas, paisajes y territorios. *Acta Botánica Cubana*. 215: 328-335.
- Ricardo NE, Herrera P. 2017. *Especies vegetales exóticas y nativas que invaden ecosistemas vulnerables en Cuba*. Centro Nacional de Áreas Protegidas, La Habana.
- Ricardo NE, Cuervo Z, Álvarez A. 2021. Fitocenosis en las Playas del Este de La Habana, Cuba. IV. Post Duna. *Acta Botánica Cubana*. 220. 0001300013.

- Rodríguez GB. 2014. Las cuencas hidrográficas cubanas. Un acercamiento a las buenas prácticas aplicadas en ecosistemas degradados. Evaluación ambiental integral de ecosistemas degradados de Iberoamérica: experiencias positivas y buenas prácticas. Informe del Proyecto “Desarrollo de metodologías, indicadores ambientales y programas para la evaluación ambiental integral y la restauración de ecosistemas degradados” del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (Red 411RT0430), Buenos Aires.
- Rodríguez LF, Castro LM, Salabarría D. 2014. EEI: el caso del archipiélago cubano. *Ambienta Especies Exóticas Invasoras*. 109: 62-77
- Rodríguez T. 1999. Dinámica de crecimiento de dos malezas: *Sorghum halepense* (L.) Pers. y *Cyperus rotundus* L. 1999. *Cultivos Tropicales*. 20: 25-31.
- Roig JT. 1988. *Diccionario Botánico de Nombres Vulgares cubanos*. Editora Científico-Técnica, La Habana.
- Román YA. 2022. Impacto de la urbanización en sistemas geomorfológicos costeros en Chile central: caso de Papudo y Algarrobo. Tesis de Diploma. Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Soria-Rodríguez C. 2023. La evaluación del impacto ambiental en el esperado acuerdo para la gobernanza de la biodiversidad marina fuera de la jurisdicción nacional y su previsible aplicación. *Anuario Colombiano de Derecho Internacional*. 16: 1-30.
- Tapia JL. 2012. Tahonal: ¿Benéfico o perjudicial? *Desde El Herbario CICY*. 4: 76-78.
- Teutli-Hernández C, Herrera-Silveira J, Cisneros D, Arceo-Carranza D, Canul-Cabrera A. 2021. Manual para la restauración ecológica de manglares del Sistema Arrecifal Mesoamericano del Gran Caribe. Proyecto Manejo Integrado de la cuenca al arrecife de la ecorregión del Arrecife Mesoamericano-MAR2R, UNEP-Convención de Cartagena, Mesoamerican Reef Fund. Ciudad de Guatemala.
- Valdés-Alameda R, Jurado E, Flores J, Estrada E. 2023. Banco de semillas del suelo bajo individuos aislados de especies arbóreas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 14: 31-57.
- Vázquez-Valencia RA, García-Almada RM. 2018. Indicadores PER y FPEIR para el análisis de la sustentabilidad en el municipio Cihuatlán, Jalisco, México. *Revista de Ciencias Sociales*. 27: 1-26.
- Vega HR, Rodríguez VMG, Sifuentes JÁM, Nava DH, Loperena RM, Rodríguez JDV. 2023. Análisis sobre la composición nutricional de las vainas de leguminosas arbustivas en la región Altos de Jalisco. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 27: 13-15.
- Velásquez LJ, Armas M. 2013. Indicadores de desarrollo sostenible para la planificación y toma de decisiones en el Municipio Caroní. *Universidad, Ciencia y Tecnología*. 17: 19-27
- Volpedo AV, Reyes LF, Buitrago J. 2011. Experiencias en la aplicación del enfoque GEO en la evaluación de ecosistemas degradados de Iberoamérica. Informe del Proyecto “Desarrollo de metodologías, indicadores ambientales y programas para la evaluación ambiental integral y la restauración de ecosistemas degradados” del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (Red 411RT0430), Buenos Aires.
- Von der Lippe M, Kowarik I. 2007. Long-distance dispersal of plants by vehicles as a driver of plant invasions. *Conservation Biology*. 21: 986-996.
- Vossler FG, Delucchi G. 2022. *Leucaena leucocephala* (Fabaceae), especie invasora en la Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. 57:1-10.

León Rodríguez *et al.*: Evaluación ambiental de la biodiversidad en el Mariel

## ANEXOS

**Anexo 1.** Lista de especies de la flora presentes en el Sector A, ZEDM, inmediaciones de la Bahía del Mariel. Origen de la especie: n: nativa; e: exótica; eei: especie exótica invasora; epi: especie potencialmente invasora. Sinantropismo, ap: apófita, an: antropófita, pa: parapófita.

**Appendix 1.** List of flora species present in Sector A, ZEDM, surrounding Mariel Bay. Origin of the species: Legend: n] native, [e] exotic, [eei] invasive alien species, [epi] potentially invasive species. Sinantrop.: synanthropism, ap: apophyte, an: anthropophyte, pa: parapophyte. EF: Phenological stage.

| Familia/Especie                                             | Nombre común        | Abundancia<br>- Cobertura | Sinantropismo | Estado<br>fenológico<br>(flor, fruto) |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------|---------------|---------------------------------------|
| <b>Aizoaceae</b>                                            |                     |                           |               |                                       |
| <i>Sesuvium portulacastrum</i> (L.) L. [n]                  | verdolaga de costa  | bajo                      | ap            | sí                                    |
| <i>Trianthema portulacastrum</i> L. [n]                     | yerba de sapo       | muy bajo                  | ap            |                                       |
| <b>Amaranthaceae</b>                                        |                     |                           |               |                                       |
| <i>Gomphrena vermicularis</i> L. [n]                        | verdolaga de mar    | muy bajo                  |               | sí                                    |
| <b>Anacardiaceae</b>                                        |                     |                           |               |                                       |
| <i>Comocladia dentata</i> Jacq. [n]                         | guao                | bajo                      | ap            |                                       |
| <i>Metopium toxiferum</i> (L.) Krug & Urb. [n]              | guao de costa       | muy bajo                  | ap            | sí                                    |
| <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi [eei]                  | copal, falso copal  | muy bajo                  | an            | sí                                    |
| <b>Apocynaceae</b>                                          |                     |                           |               |                                       |
| <i>Calotropis procera</i> (Aiton) W. T. Aiton [eei]         | algodón de seda     | bajo                      | an            | sí                                    |
| <b>Arecaceae</b>                                            |                     |                           |               |                                       |
| <i>Roystonea regia</i> (Kunth) O. F. Cook [n]               | palma real          | bajo                      | ap            |                                       |
| <i>Thrinax radiata</i> Lodd. ex Schult. & Schult. f. [n]    | yuraguana           | bajo                      |               | sí                                    |
| <b>Asteraceae</b>                                           |                     |                           |               |                                       |
| <i>Baccharis halimifolia</i> L. [n]                         | tres Marias         | bajo                      | ap            | sí                                    |
| <i>Bidens alba</i> (L.) DC. [n]                             | romerillo blanco    | medio                     | an            | sí                                    |
| <i>Borrhchia arborescens</i> (L.) DC. [n]                   | romero de costa     | muy bajo                  | ap            | sí                                    |
| <i>Emilia sonchifolia</i> (L.) DC [e]                       | clavel chino        | muy bajo                  | an            | sí                                    |
| <i>Erigeron canadensis</i> L. [e]                           | achicoria silvestre | muy bajo                  | an            |                                       |
| <i>Eupatorium capillifolium</i> (Lam.) Small [e]            | copal               | muy bajo                  | an            |                                       |
| <i>Iva cheiranthifolia</i> Kunth [n]                        | artemisa de playa   | medio                     |               |                                       |
| <i>Koanophyllon villosum</i> (Sw.) R. M. King & H. Rob. [n] | albahaquilla        | bajo                      | ap            | sí                                    |
| <i>Melanthera nivea</i> (L.) Small [n]                      | botón de plata      | muy bajo                  | an            | sí                                    |
| <i>Parthenium hysterophorus</i> L. [eei]                    | escoba amarga       | bajo                      | an            | sí                                    |
| <i>Pluchea carolinensis</i> (Jacq.) G. Don [n]              | salvia              | bajo                      | pa            | sí                                    |
| <i>Sonchus oleraceus</i> L. [eei]                           | cerraja             | bajo                      | an            | sí                                    |
| <i>Sphagneticola trilobata</i> (L.) Pruski [eei]            | romero de playa     | bajo                      | an            | sí                                    |
| <i>Spilanthes urens</i> Jacq. [n]                           | sensitiva silvestre | bajo                      | ap            | sí                                    |
| <i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl.) A. Gray [eei]         | margaritona         | muy bajo                  | an            | sí                                    |
| <i>Tridax procumbens</i> L. [n]                             | manzanilla          | medio                     | an            | sí                                    |

León Rodríguez *et al.*: Evaluación ambiental de la biodiversidad en el Mariel

| Familia/Especie                                               | Nombre común          | Abundancia<br>- Cobertura | Sinantropismo | Estado<br>fenológico<br>(flor, fruto) |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------|---------------------------------------|
| <i>Viguiera dentata</i> (Cav.) Spreng. [cei]                  | romerillo de costa    | alto                      | an            | sí                                    |
| <b>Acanthaceae</b>                                            |                       |                           |               |                                       |
| <i>Avicennia germinans</i> (L.) L. [n]                        | mangle prieto         | alto                      | ap            |                                       |
| <b>Boraginaceae</b>                                           |                       |                           |               |                                       |
| <i>Ehretia tinifolia</i> L. [n]                               | roble prieto          | bajo                      | ap            | sí                                    |
| <i>Heliotropium angiospermum</i> Murray [n]                   | alacrancillo fino     | bajo                      | ap            | sí                                    |
| <i>Heliotropium curassavicum</i> L. [n]                       | alacrancillo de playa | bajo                      | pa            | sí                                    |
| <i>Myriopus volubilis</i> (L.) Small [n]                      | nigua                 | bajo                      | ap            | sí                                    |
| <b>Burseraceae</b>                                            |                       |                           |               |                                       |
| <i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg. [n]                        | almácigo              | bajo                      |               |                                       |
| <b>Malvaceae</b>                                              |                       |                           |               |                                       |
| <i>Melochia pyramidata</i> L. [n]                             | malva de caballo      | bajo                      | ap            | sí                                    |
| <i>Waltheria indica</i> L. [n]                                | malva blanca          | bajo                      | ap            | sí                                    |
| <b>Capparaceae</b>                                            |                       |                           |               |                                       |
| <i>Morisonia flexuosa</i> L. [n]                              | p,,de perro           | bajo                      |               |                                       |
| <b>Casuarinaceae</b>                                          |                       |                           |               |                                       |
| <i>Casuarina equisetifolia</i> L. [cei]                       | pino de Australia     | bajo                      | an            |                                       |
| <b>Combretaceae</b>                                           |                       |                           |               |                                       |
| <i>Conocarpus erectus</i> L. [n]                              | yana                  | muy alto                  |               | sí                                    |
| <i>Laguncularia racemosa</i> (L.) C. F. Gaertn. [n]           | patabán               | alto                      |               | sí                                    |
| <i>Terminalia catappa</i> L. [cei]                            | almendro de la India  | bajo                      | an            |                                       |
| <b>Convolvulaceae</b>                                         |                       |                           |               |                                       |
| <i>Ipomoea indica</i> (Burm. f.) Merr. [n]                    | aguinaldo             | medio                     | pa            | sí                                    |
| <i>Ipomoea pes-caprae</i> (L.) R. Br. [n]                     | boniato de playa      | bajo                      | pa            |                                       |
| <i>Ipomoea tiliacea</i> (Willd.) Choisy [n]                   | marrullero            | bajo                      | pa            | sí                                    |
| <i>Ipomoea violacea</i> L. [n]                                | jabilla               | bajo                      | pa            |                                       |
| <i>Distimake dissectus</i> (Jacq.) A. R. Simões & Staples [n] | aguinaldo de almendra | bajo                      | an            | sí                                    |
| <i>Camonea umbellata</i> (L.) A. R. Simões & Staples [n]      | aguinaldo amarillo    | medio                     | pa            | sí                                    |
| <b>Cucurbitaceae</b>                                          |                       |                           |               |                                       |
| <i>Cucurbita moschata</i> Duchesne [e]                        | calabacín             | muy bajo                  | an            | sí                                    |
| <b>Cyperaceae</b>                                             |                       |                           |               |                                       |
| <i>Fimbristylis cymosa</i> R. Br. [n]                         |                       | alto                      | pa            | sí                                    |
| <i>Cyperus ligularis</i> L. [n]                               | juncos de agua        | bajo                      |               | sí                                    |
| <b>Euphorbiaceae</b>                                          |                       |                           |               |                                       |
| <i>Euphorbia hypericifolia</i> L. [n]                         |                       | medio                     | ap            | sí                                    |
| <i>Euphorbia hyssopifolia</i> L. [n]                          |                       | bajo                      | ap            | sí                                    |
| <i>Euphorbia prostrata</i> Aiton [n]                          | yerba de la niña      | muy bajo                  | ap            | sí                                    |

León Rodríguez *et al.*: Evaluación ambiental de la biodiversidad en el Mariel

| Familia/Especie                                                 | Nombre común          | Abundancia<br>- Cobertura | Sinantropismo | Estado<br>fenológico<br>(flor, fruto) |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------|---------------------------------------|
| <i>Euphorbia heterophylla</i> L. [n]                            | corazón de María      | bajo                      | pa            | sí                                    |
| <i>Ricinus communis</i> L. [eei]                                | higuereta, ricino     | medio                     | an            | sí                                    |
| <b>Fabaceae</b>                                                 |                       |                           |               |                                       |
| <i>Albizia lebbbeck</i> (L.) Benth [eei]                        | algarrobo de olor     | medio                     | an            | sí                                    |
| <i>Alysicarpus vaginalis</i> (L.) DC. [epi]                     | maní cimarrón         | medio                     | an            | sí                                    |
| <i>Schnella glabra</i> (Jacq.) Dugand [n]                       | bejuco tortuga        | bajo                      | ap            | sí                                    |
| <i>Caesalpinia bahamensis</i> Lam. subsp. <i>bahamensis</i> [n] | brasilete             | medio                     |               | sí                                    |
| <i>Cajanus cajan</i> (L.) Huth [e]                              | gandul                | bajo                      | an            | sí                                    |
| <i>Canavalia rosea</i> (Sw.) DC. [n]                            | mate de costa         | bajo                      | ap            |                                       |
| <i>Centrosema pubescens</i> Benth. [n]                          | bejuco de chivo       | bajo                      | ap            | sí                                    |
| <i>Centrosema virginianum</i> (L.) Benth. [n]                   | críca de negra        | bajo                      | ap            | sí                                    |
| <i>Crotalaria retusa</i> L. [eei]                               | maruga                | bajo                      | an            | sí                                    |
| <i>Desmanthus virgatus</i> (L.) Willd. [n]                      | adormidera            | bajo                      | ap            | sí                                    |
| <i>Dichrostachys cinerea</i> (L.) Wight & Arn. [eei]            | marabú                | medio                     | an            | sí                                    |
| <i>Indigofera scabra</i> Roth [e]                               |                       | bajo                      | pa            | sí                                    |
| <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit. [eei]               | ipil-ipil             | alto                      | an            | sí                                    |
| <i>Macroptilium atropurpureum</i> (DC.) Urb. [e]                | contramaligna         | medio                     | an            | sí                                    |
| <i>Macroptilium lathyroides</i> (L.) Urb. [n]                   | contramaligna         | muy bajo                  |               |                                       |
| <i>Mimosa pigra</i> L. [n]                                      | weyler                | bajo                      | pa            | sí                                    |
| <i>Mimosa pudica</i> L. [eei]                                   | dormidera             | muy bajo                  | an            | sí                                    |
| <i>Rhynchosia minima</i> (L.) DC. [n]                           | bejuco de cangrejo    | bajo                      | pa            | sí                                    |
| <i>Senna occidentalis</i> (L.) Link [n]                         | yerba hedionda        | bajo                      | pa            | sí                                    |
| <i>Stylosanthes hamata</i> (L.) Taub. [n]                       |                       | muy bajo                  |               | sí                                    |
| <i>Teramnus uncinatus</i> (L.) Sw. [n]                          | cresta de gallo       | bajo                      | ap            | sí                                    |
| <i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn [n]                | aroma amarillo        | alto                      | ap            | sí                                    |
| <i>Vigna luteola</i> (Jacq.) Benth. [n]                         | frijol cimarrón       | muy bajo                  | an            | sí                                    |
| <i>Vigna marina</i> (Burm.) Merr. [epi]                         | vigna                 | muy bajo                  | an            | sí                                    |
| <b>Malpighiaceae</b>                                            |                       |                           |               |                                       |
| <i>Stigmaphyllon sagranum</i> A. Juss. [n]                      |                       | medio                     | ap            | sí                                    |
| <b>Malvaceae</b>                                                |                       |                           |               |                                       |
| <i>Malvastrum corchorifolium</i> (Desr.) Britton ex Small [n]   |                       | muy bajo                  | ap            | sí                                    |
| <i>Sida ulmifolia</i> Mill. [n]                                 | malva de caballo      | muy bajo                  | pa            | sí                                    |
| <i>Thespesia populnea</i> (L.) Sol. ex Corrêa [n]               | majagua de la Florida | bajo                      | an            | sí                                    |
| <b>Muntingiaceae</b>                                            |                       |                           |               |                                       |
| <i>Muntingia calabura</i> L. [n]                                | capulí                | bajo                      | ap            | sí                                    |
| <b>Myrtaceae</b>                                                |                       |                           |               |                                       |
| <i>Eugenia rhombea</i> (O. Berg) Krug & Urb. [n]                |                       | bajo                      | ap            | sí                                    |

León Rodríguez *et al.*: Evaluación ambiental de la biodiversidad en el Mariel

| Familia/Especie                                         | Nombre común      | Abundancia<br>- Cobertura | Sinantropismo | Estado<br>fenológico<br>(flor, fruto) |
|---------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------|---------------|---------------------------------------|
| <i>Psidium guajava</i> L. [cei]                         | guayaba           | bajo                      | an            | sí                                    |
| <b>Onagraceae</b>                                       |                   |                           |               |                                       |
| <i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) P. H. Raven [n]      |                   | bajo                      | pa            |                                       |
| <b>Poaceae</b>                                          |                   |                           |               |                                       |
| <i>Andropogon glomeratus</i> (Walter) Britton & al. [n] |                   | medio                     | ap            | sí                                    |
| <i>Cenchrus echinatus</i> L. [e]                        | guizazo           | muy bajo                  | ap            | sí                                    |
| <i>Chloris barbata</i> Sw. [e]                          |                   | medio                     | pa            | sí                                    |
| <i>Dichanthium annulatum</i> (Forssk.) Stapf. [e]       | pitilla americana | alto                      | an            | sí                                    |
| <i>Dichanthium caricosum</i> (L.) A. Camus [e]          | jiribilla         | bajo                      | an            | sí                                    |
| <i>Echinochloa colona</i> (L.) Link [e]                 | armilán           | bajo                      | an            | sí                                    |
| <i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn. [e]                 | pata de gallina   | bajo                      | an            | sí                                    |
| <i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka [e]                | barba de indio,   | medio                     | an            | sí                                    |
| <i>Urochloa maxima</i> (Jacq.) R. D. Webster [e]        | hierba de guinea  | alto                      | an            | sí                                    |
| <i>Setaria parviflora</i> (Poir.) Kerguelen [n]         | guizacillo        | medio                     |               | sí                                    |
| <i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers. [e]                 | don Carlos        | alto                      | an            | sí                                    |
| <i>Sporobolus indicus</i> (L.) R. Br. [e]               | espartillo        | medio                     |               | sí                                    |
| <b>Portulacaceae</b>                                    |                   |                           |               |                                       |
| <i>Portulaca oleracea</i> L. [n]                        | verdolga          | muy bajo                  | an            | sí                                    |
| <b>Rhizophoraceae</b>                                   |                   |                           |               |                                       |
| <i>Rhizophora mangle</i> L. [n]                         | mangle rojo       | bajo                      |               | si                                    |
| <b>Rubiaceae</b>                                        |                   |                           |               |                                       |
| <i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A. Rich. ex DC. [n]     | pitajoní          | bajo                      |               | si                                    |
| <i>Morinda royoc</i> L. [n]                             | piñipiñí          | bajo                      | ap            | si                                    |
| <i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg [n]                 | amoroso           | bajo                      | ap            |                                       |
| <b>Smilacaceae</b>                                      |                   |                           |               |                                       |
| <i>Smilax havanensis</i> Jacq. [n]                      | alambrillo        | bajo                      | ap            |                                       |
| <b>Solanaceae</b>                                       |                   |                           |               |                                       |
| <i>Cestrum diurnum</i> L. [n]                           | galán de día      | muy bajo                  | ap            | si                                    |
| <i>Solanum erianthum</i> D. Don [n]                     | tabaco cimarrón   | muy bajo                  | ap            | si                                    |
| <i>Solanum lycopersicum</i> L. [e]                      | tomate            | muy bajo                  | an            | si                                    |
| <b>Sparmanniaceae</b>                                   |                   |                           |               |                                       |
| <i>Corchorus siliquosus</i> L [n]                       | malva té          | bajo                      | ap            | si                                    |
| <b>Verbenaceae</b>                                      |                   |                           |               |                                       |
| <i>Citharexylum spinosum</i> L. [n]                     | canilla de venado | bajo                      | ap            | si                                    |
| <i>Lantana trifolia</i> L. [n]                          | filigrana         | bajo                      | ap            | si                                    |
| <i>Stachytarpheta jamaicensis</i> (L.) Vahl [n]         | verbena azul      | bajo                      | ap            | si                                    |

León Rodríguez *et al.*: Evaluación ambiental de la biodiversidad en el Mariel

**Anexo 2.** Lista de especies de Lepidoptera presentes en el Sector A, ZEDM.

**Appendix 2.** List of species of Lepidoptera present in Sector A, ZEDM.

| Familia      | Subfamilia     | Especie                                 |
|--------------|----------------|-----------------------------------------|
| Hesperiidae  | Eudaminae      | <i>Cecropterus dorantes santiago</i>    |
|              | Hesperiinae    | <i>Atalopedes mesogramma mesogramma</i> |
|              |                | <i>Cymaenes tripunctus tripunctus</i>   |
|              |                | <i>Choranthus radians</i>               |
|              |                | <i>Hylephila phileus phileus</i>        |
|              |                | <i>Polites baracoa baracoa</i>          |
| Lycanidae    | Polyommatainae | <i>Hemmiargus ceraunus</i>              |
|              |                | <i>Leptotes cassius theonus</i>         |
|              |                | <i>Strymon limenia</i>                  |
| Nymphalidae  | Danainae       | <i>Danaus gilippus berenice</i>         |
|              | Heliconiinae   | <i>Dryas iulia nudeola</i>              |
|              |                | <i>Helichonius charitonia</i>           |
|              | Nymphalinae    | <i>Anartia jatrophae guantanamo</i>     |
|              |                | <i>Anthanassa frisia frisia</i>         |
| Papilionidae | Satyrinae      | <i>Calisto herophile</i>                |
|              | Papilioninae   | <i>Heraclides andraemon andraemon</i>   |
|              |                | <i>Heraclides caiguanabus</i>           |
| Pieridae     | Coliadinae     | <i>Abaeis nicippe</i>                   |
|              |                | <i>Eurema दौरا</i>                      |
|              |                | <i>Phoebis sennae sennae</i>            |
|              |                | <i>Pyrisitia nise nise</i>              |
|              | Pierinae       | <i>Ascia monuste eubotea</i>            |