




Evaluación de la degradación geoecológica del geosistema Llanura Costera del río San Pedro, Nayarit (México)

Assessment of the geoecological degradation of the Coastal Plain geosystem of the San Pedro River, Nayarit (Mexico)

Francisco José Cantarero Prados¹ ; Mario Arturo Ortiz Pérez²;
Ana Luisa De la Fuente Roselló³ ; José Manuel Figueroa MahEng⁴ ;
Gerardo Rodríguez Mosqueda⁵

RESUMEN

Se presenta una metodología para evaluar el grado de degradación geoecológica en la reserva de la biosfera de "Marismas Nacionales" y su área de influencia, en la subregión hidrológica del río San Pedro (Nayarit, México). Se trata de un espacio de gran biodiversidad sometido a fuertes tensiones ambientales, por el uso intensivo de actividades agrarias o pesqueras. La metodología parte de unidades geomorfológicas homogéneas. Sobre ellas se ha valorado el grado de pérdida de naturalidad a través la superposición de capas de información. Estas caracterizan todos los elementos que suponen algún grado de alteración antrópica, lo cual incluye usos del suelo convencionales e intervenciones humanas muy específicas no incluidas en las cartografías de usos del suelo convencionales. En el apartado de resultados, se observa coincidencia espacial entre las áreas menos alteradas y las unidades geomorfológicas con terrenos más limitantes del desarrollo de actividades primarias (agricultura, pesca o ganadería). Así, el potencial de pérdida de naturalidad es en las áreas cercanas al litoral (cordones, deltas lacustres o cordones sumergidos), aumentando hacia las planicies deltaicas y aluviales del interior de la región. Estos hallazgos son relevantes en la medida en que pueden orientar medidas de planificación territorial o ecológica en la zona.

Palabras clave: degradación antrópica; hemerobia; paisaje; unidades geomorfológicas; usos del suelo

ABSTRACT

A methodology is presented to assess the degree of geoecological degradation in the "Marismas Nacionales" biosphere reserve and its area of influence, in the hydrological subregion of the San Pedro River (Nayarit, Mexico). This is an area of great biodiversity subject to strong environmental stress due to the intensive use of agricultural or fishing activities. The methodology is based on homogeneous geomorphological units. The

¹ Institución: Dpto. de Geografía. Universidad de Málaga; Correo electrónico: fjcantarero@uma.es

² Institución: Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México; Correo electrónico: maop@igg.unam.mx

³ Institución: Dpto. de Geografía. Universidad de Málaga; Correo electrónico: anadelafuente@uma.es

⁴ Institución: Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México; Correo electrónico: mahengf@yahoo.com.mx

⁵ Institución: Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México; Correo electrónico: balam.ger@gmail.com

degree of loss of naturalness has been assessed on them through the superposition of layers of information. These characterize all the elements that imply some degree of anthropic alteration, which includes conventional land uses and very specific human interventions not included in conventional land use maps. In the results section, spatial coincidence is observed between the least altered areas and the geomorphological units with lands that are more limiting for the development of primary activities (agriculture, fishing or livestock). Thus, the potential for loss of naturalness is in areas close to the coast (lacustrine ridges, deltas or submerged ridges), increasing towards the deltaic and alluvial plains in the interior of the region. These findings are relevant to the extent that they can guide territorial or ecological planning measures in the area.

Key words: anthropogenic degradation; geomorphological units; hemeroby; land use; landscape

1. Introducción

El ser humano, en su constante expansión, avanza de forma acelerada transformando los espacios naturales que tiene a su alcance. Tres cuartas partes del medio terrestre en el mundo han sido ya alteradas significativamente por la acción humana (Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente, 2021), afectando a gran variedad de ecosistemas en Latinoamérica (Nepstad et al. 2006; Aide et al. 2013; Maza-Villalobos et al., 2023; Chaves et al., 2024) y el planeta en general (FAO, 2022).

La inquietud por la preservación de los ecosistemas, y por ende de la naturalidad de los paisajes, está muy presente en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de la ONU, concretamente con el objetivo número 15 (Organización de las Naciones Unidas, 2015). En el caso de México, su estrategia nacional sobre biodiversidad tiene en cuenta específicamente a los ecosistemas en sus metas 1.1.4 y 1.1.5 (CONABIO, 2012). La incertidumbre sobre la respuesta del medio natural al cambio climático añade una capa adicional de complejidad a esta situación (Hylander et al., 2022).

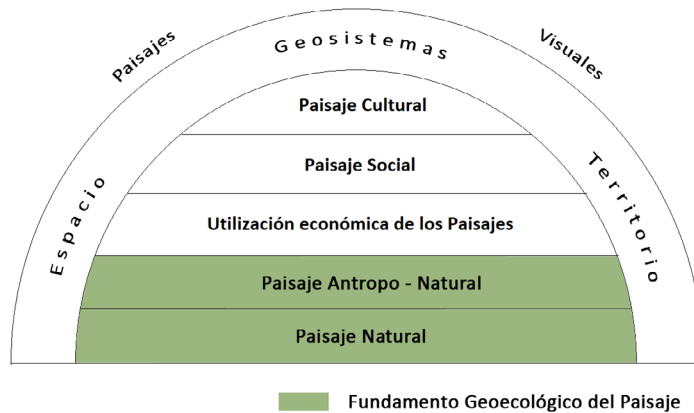
Ante este panorama, resulta muy necesario realizar evaluaciones detalladas de la funcionalidad de los ecosistemas orientadas a su planificación y gestión (Martins Brito et al. 2022). Estas evaluaciones son esenciales para conocer y clasificar la vulnerabilidad de los diferentes ecosistemas, permitiendo comprender mejor su capacidad para resistir y adaptarse a las diversas presiones ambientales (Mateo & Ortiz, 2001). Solo mediante un entendimiento profundo de estas dinámicas se podrán desarrollar estrategias efectivas para su conservación y manejo sostenible (Mateo & da Silva, 2007).

La geoecología de los paisajes es una disciplina que se ocupa de analizar la estructura y funcionamiento de los paisajes, no solo naturales sino también humanizados. Se trata de una ciencia interdisciplinaria de la cual participa la geografía en uno de sus variados enfoques sobre el paisaje (Mateo & da Silva, 2007). En la Figura N°1 se esquematiza los diferentes enfoques que abordan el paisaje en la ciencia geográfica. Existen diversas obras (Ortega, 1996; Pérez-Chacón, 1999; García Romero & Muñoz Jiménez, 2002; Frolova & Bertrand, 2006; Zubelzu & Allende, 2014) que detallan la evolución e historia del estudio del paisaje en la Geoecología de como las diferentes corrientes en las que se ha fragmentado, incluida esta desde la que se aborda el presente trabajo: el paisaje, en su perspectiva ecológica o integral (Bertrand, 1984; Bertrand & Bertrand, 1992;

Mateo, 1994), o más concretamente, la Geoecología de los paisajes (Mateo & da Silva, 2007; Martins Brito et al. 2022).

Figura N°1.

Esquema sintético de las diferentes interpretaciones del estudio del paisaje en la ciencia geográfica.



Fuente: Modificado de Mateo & Ortiz (2001) y Mateo (2002)

El paisaje, en su perspectiva ecológica o integral, es considerado como un sistema conceptual (Bertrand, 1984; Bertrand & Bertrand, 1992; Mateo, 1994) en el que se mezclan los aspectos presentes en el espacio geográfico. El "fundamento geoecológico del paisaje" (Mateo & Ortiz, 2001) define el concepto de degradación geoecológica como "la pérdida de atributos y propiedades sistémicas que deben garantizar el cumplimiento de las funciones geoecológicas, y la actividad de los mecanismos de autorregulación" (Mateo, 2002). Así pues, se trata de una propiedad que indica el nivel de eficiencia en la funcionalidad del sistema.

De los 4 atributos que determinan la degradación geoecológica (Mateo & Ortiz, 2001), este trabajo se ha enfocado en la hemerobia para efectuar un análisis sobre la reserva de la biosfera de "Marismas Nacionales" y su área de influencia, en la subregión hidrológica del río San Pedro (Nayarit, México).

La pérdida de naturalidad es un concepto que en términos prácticos se puede asimilar al de hemerobia. Este identifica las modificaciones en la estructura y funcionamiento del paisaje motivadas por la actuación humana (Mateo, 2002), es decir, el grado de influencia humana en los ecosistemas (Jalas, 1955; Sukopp, 1969). Su magnitud será mayor cuanto más acusada sea la intervención antrópica (Eurostat, 2023), La hemerobia está muy estrechamente vinculada con el grado de degradación, considerándose una relación casi unívoca (Mateo, 2002) que ha sido comprobada en múltiples investigaciones (Jasinaviciute & Veteikis, 2022, Scherrer et al. 2023; Wang et al. 2023). Los estudios sobre este concepto vienen publicándose desde mediados del siglo XX (Jalas, 1953; Sukopp & Werner, 1983.; ElleMBERG, 1973; Leser, 1978; Falinski, 1966; Breuste, 1998; González Otero & García Rodríguez, 1994; Stoll, 2008; Walz & Stein, 2014; Kiedrzyński et al., 2014; Marino Maldonado, et al., 2017; Zhou, et al., 2018), con variados enfoques y abordajes metodológicos.

En términos prácticos el concepto de hemerobia es considerado como una dualidad complementaria con el de naturalidad (Erdős et al. 2022). Pese a lo anterior, el reconocimiento de la condición de natural es difícil de determinar (Martins Brito et al. 2022). Por ejemplo, existen usos tradicionales de aprovechamiento de los recursos en armonía con el medio, como los “sistemas agrícolas adaptados” (Monasterio et al., 1985, cit. por Mateo, 2002). Esto complica la calibración de la naturalidad, y de hecho se constata una amplia diversidad de aproximaciones para su estimación (Winter, 2012; Martins Brito et al, 2022).

Existen diversos índices de evaluación de la naturalidad como: Coeficiente de Transformación Antropogénica (Shishenko, 1998, cit. por Mateo, 2002), Valor de Hemerobia (Grabherr et al. 1998), Índice de Hemerobia (Steinhardt et al., 1999; Walz & Stein, 2014), Índice de naturalidad (Machado, 2004), Grado de Hemerobia (Stoll, 2007), Índice Integrado Relativo de Antropización (Martínez, 2010), Índice Sintético de Hemerobia (Tian et al. 2020).

Los sistemas de información geográfica son una herramienta muy utilizada en este tipo de estudios. Los usos del suelo son un insumo empleado con frecuencia en el análisis (Walz & Stein, 2014; Pérez-Vega et al. 2020; da Silva et al., 2021), siendo las imágenes satelitales una fuente muy recurrente (Steinhardt et al. 1999; Wang et al., 2023; Pulido-Herrera et al. 2024), aunque, en función de la finura de los propósitos del análisis se requiere revisión y validación de sus resultados (Hernández et al., 2008; Bertani & Peña, 2015; Niño et al., 2023).

En frecuentes casos las investigaciones evalúan la relación entre la hemerobia y algunas características físicas. Algunas pueden ser: altitud (Vergara & Ibarra, 2019) pendiente (Vergara e Ibarra, 2019; Yi et al. 2021), geología (Moresco & Silva, 2016, Marino et al., 2017), geomorfología (Niño et al., 2023), limnología (da Silva et al. 2021) o variables climáticas (Wang et al. 2023; Seabra et al., 2024), entre otras. En frecuentes casos se emplean técnicas estadísticas para medir sus relaciones. Algunas son convencionales, como el análisis de componentes principales (da Silva et al., 2021), la regresión múltiple (Wang et al., 2023) o el análisis de datos ponderados (Yi et al., 2021), mientras que otras son más otras novedosas, como el aprendizaje de máquina (Niño et al., 2023). También en ocasiones se consideran factores como la estructura del paisaje (Torres-Gómez et al., 2009), usándose en este caso métricas específicas para su evaluación (Steinhardt et al. 1999; Tian et al., 2020; Wang et al., 2023). Las escalas de análisis oscilan desde nacionales (Walz & Stein, 2014; Santos et al., 2023) hasta microcuencas (da Silva et al., 2021; Borges do Couto et al., 2022;). Su adopción varía en función de los fines y de las particularidades del área de estudio.

Desde el punto de vista del análisis geocológico se perciben dos orientaciones que sustentan la implicación de la geomorfología en los análisis de la degradación ambiental:

1. Geomorfológica-focal. De base eminentemente geomorfológica, centrada en averiguar cómo el relieve responde a la interacción con el resto de los agentes del espacio geográfico, principalmente del medio físico. Esta respuesta dependerá de las propiedades geomorfológicas del espacio analizado y puede hacer evolucionar al paisaje hacia nuevos escenarios (Pedraza, 1996). Si en ellos el medio ambiente reduce su capacidad para responder a las necesidades y objetivos sociales y ecológicos, se alcanzarán estados de “degradación ambiental” (UNDRR, 2009). Por ejemplo, la respuesta a una misma lluvia torrencial de dos geoformas con formas y procesos muy distintos será también muy diferenciada. Entre otras temáticas, en este enfoque abundan los tra-

bajos sobre erosión o desertificación (Johnson & Lewis, 2006; Imeson, 2012; Coates, 2021; Punoli et al., 2024, entre otros). En el caso de los humedales, un entendimiento de su geomorfología puede ayudar a anticipar futuros cambios indeseados y sugerirá cómo manejar estos ecosistemas para amortiguar el impacto de climas extremos y otras geoamenazas (Tooth et al., 2014).

Concepciones como la ecogeografía (Tricart & Kilian, 1979) consideran el análisis geomorfológico, un pilar básico en la evaluación de la estabilidad del sistema natural. En México incluso han surgido propuestas para usar la regionalización geomorfológica como una alternativa de regionalización ecológica (Bocco et al., 1999).

En este enfoque amplio, también pueden considerarse las investigaciones que emplean a la geomorfología como evidencia empírica de la desnaturalización. Es decir, la geomorfología es receptora de los efectos de la alteración de los procesos naturales (aridez, desertificación, inundaciones, etc.). Por ejemplo, cuando se aceleran hasta conducir a la degradación. En este contexto también tendrían cabida los estudios que relacionan la geomorfología con el riesgo (Perles y Cantarero, 2010; Kern et al, 2012; Gohar & Kondolf, 2017; Nirmala, 2023, entre otros).

2. Geomorfológico-contextual. Emplea las características geomorfológicas para explicar la magnitud de la intervención antrópica en el paisaje, y la consiguiente degradación ambiental. En esta línea se incluyen trabajos orientados al análisis de la hemerobia (Peña-Cortés et al., 2006, Yi et al., 2021; Niño et al., 2023). Consideran que la distribución de los usos del suelo está condicionada por factores físicos, entre otros las formas y procesos del relieve, fungiendo como una suerte de factor atrayente/repelente de la intervención antrópica. Por ejemplo, un espacio montañoso con fuertes pendientes y difícil de cultivar, sufrirá menor degradación ambiental que el fondo de un valle. Es por tanto lógico encontrar este enfoque en estudios de hemerobia dado que el protagonista de ellos es la acción humana.

El objetivo principal de esta investigación es evaluar la degradación geoecológica del geosistema Llanura Costera del río San Pedro, para lo cual se plantean los siguientes objetivos específicos: 1) delimitar unidades geomorfológicas que servirán como unidades de análisis; 2) realizar cartografía de alteraciones antrópicas; 3) establecer el potencial de naturalidad de las intervenciones antrópicas; 4) valorar la pérdida de naturalidad global en las unidades geomorfológicas.

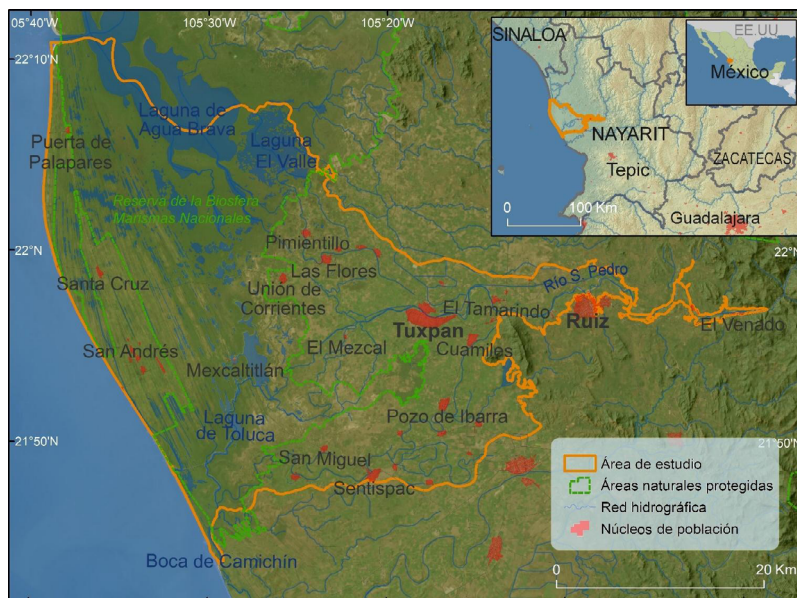
Los resultados del análisis practicado permitirán responder a las siguientes preguntas: ¿En qué estado de degradación geoecológica se encuentra el área analizada? ¿Existen diferencias de pérdida de naturalidad entre las diferentes unidades geomorfológicas de la zona?. Este cuestionamiento puede servir como un ejercicio de diagnóstico sistémico. Esto facilitaría derivar medidas de restauración o rehabilitación de espacios degradados, así como señalar qué otras áreas menos alteradas merecen ser objeto de medidas de prevención.

Este interés viene dado por la importancia medioambiental de la zona de estudio elegida. Se trata de una región de rica biodiversidad (CONANP, 2009; De la Lanza, 2009). que enfrenta una presión ambiental significativa (De la Lanza & Gómez, 2010) debido en buena parte a la transformación de los usos del suelo (Quintero et al., 2021); circunstancia podría conllevar cambios en la estructurales en el paisaje y su dinámica.

2. Área de estudio

La zona de estudio se localiza en la subregión hidrológica del río San Pedro Mezquital, a lo largo de una vasta llanura entre el océano Pacífico hacia el interior, con una separación aproximada de 45 km. Su cota más elevada sobre el nivel del mar es de 70 metros, en el extremo oriental, a la salida del San Pedro de la Sierra Madre. Su extremo septentrional sobre el litoral es el Canal de Cuautla, y hacia el sur la Boca de Camichín (Figura N°2).

Figura N°2.
Área de estudio



Fuente: Elaboración propia

El río San Pedro Mezquital discurre con disposición encajada desde su nacimiento, en la Sierra Madre Occidental y desemboca en la Llanura Costera del Pacífico, en el estado de Nayarit, México. En su tramo final, su cauce se dispersa por esta planicie a través de un entramado de lagunas, canales y esteros que desembocan en varios puntos, entre los que se encuentra Cachimín, que dista unos 70 km de las estribaciones del área serrana. La porción occidental de esta zona de estudio forma parte de la reserva de la Biosfera de "Marismas Nacionales" y su área de influencia.

Esta región es calificada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) como un área de superávit hidrológico (Ortiz Pérez, 2014), con sedimento asociado que conlleva a aspectos de suma importancia ambiental. Entre estos aspectos, cabe destacar que constituye un factor fundamental en cuanto al origen y conservación del ecosistema costero del norte del Estado de Nayarit (Curry & Moore, 1963 y Curry, et al., 1969), siendo además esencial para el mantenimiento de sus valores de biodiversidad, de suma importancia a nivel regional, nacional y continental.

En transición entre el medio continental y el marino, Curry et al. (1969) consideran que la región se extiende por una planicie costera de regresión depositaria por sedimentación litoral, en

la que los principales ecosistemas se encuentran conformados por procesos tanto de las cuencas mareales como de las hidrográficas (Blanco Correa, 2014). Además, a estos procesos se suma un movimiento deltaico tierra adentro, que se nutre de aportes interiores.

Las Marismas Nacionales y el tramo final del río San Pedro, constituyen un área natural ampliamente estudiada a nivel medioambiental, con más de 400 obras científicas especializadas de diferentes aspectos ambientales (Blanco Correa, 2016).

Su situación de contacto entre el dominio marítimo y el continental conlleva a un riesgo considerable ante el mínimo cambio en uno de ellos, que afectaría a la dinámica sedimentaria y al cambio general paisajístico, implicando además el incremento del peligro a repercusiones en el funcionamiento ecológico y a posibles aumentos del nivel marino, ya experimentados históricamente y al que se enfrenta en la actualidad (Blanco Correa, 2014).

3. Materiales y métodos

La metodología parte de unidades geomorfológicas homogéneas para aplicar sobre ellas un análisis multicriterio con ponderaciones basado en los usos del suelo. Para ello se han usado Sistemas de Información Geográfica, tanto para la generación de la cartografía base como en el posterior geoprocetamiento. Se han observado y aplicado procedimientos técnicos similares a los empleados en investigaciones precedentes (Tian et al., 2020; da Silva et al., 2021; Borges do Couto, 2022).

Las etapas, fuentes, procedimientos básicos y escalas de trabajo se resumen en el Cuadro N°1:

Cuadro N°1.
Resumen metodológico

Fase	Fuentes	Medios de procesamiento	Escala de trabajo
Compartimentación geomorfológica	<ul style="list-style-type: none"> · Blanco Correa et al. (2011) Diagnóstico funcional de Marismas Nacionales · Sombreado derivado de levantamiento topográfico con medios LIDAR · Ortofotografía a escala de 1:1500 (proporcionadas por CFE y Worldimagery) · Trabajo de Campo 	Delineado empleando Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS)	1:1500
Identificación y delineación de las alteraciones antrópicas	<ul style="list-style-type: none"> · Ortofotografía a escala de 1:1500 (proporcionadas por CFE y Worldimagery) 	<ul style="list-style-type: none"> · Delineación empleando Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS) · Selección de diferentes usos del suelo e intervenciones humanas degradantes en la ortofotografía a través de Adobe Photoshop (se generó una herramienta ["macro"] para la automatización de estos procesos) 	1:1500

Fase	Fuentes	Medios de procesamiento	Escala de trabajo
Asignación del potencial de pérdida de naturalidad de las a las alteraciones antrópicas	• Ortiz Pérez et al. 2015, reclasificado a través de consulta a expertos	• Reclasificación de usos antrópicos generando nuevos atributos alfanuméricos en la BBDD del SIG	1:1500
Valoración la pérdida de naturalidad global en las unidades geomorfológicas	• La información georreferenciada generada en las fases anteriores	• Geoprocesamiento de capas en SIG y reclasificación	1:5000

Fuente: elaboración propia

Se han seguido cuatro pasos metodológicos que avanzan desde la elaboración de unidades de trabajo hasta la estimación de la pérdida de naturalidad del territorio:

1.- *Compartimentalización geomorfológica.*

La identificación de las unidades geomorfológicas se ha tomado como base para la regionalización del territorio. Dadas las características deltaicas y estuarinas, a tal efecto se emplearon unidades básicas de análisis trazadas con criterio hidrogeomorfológico. Para ello se ha usado como base la cartografía geomorfológica de Blanco Correa et al. (2011), que ha sido actualizada y ampliada empleando ortofotografías y un modelo digital de elevaciones levantado con técnicas LIDAR, ambos suministrados por Comisión Federal de Electricidad. Sobre las unidades delineadas se han representado finalmente los resultados del objetivo último de este análisis: la evaluación del grado de pérdida de naturalidad.

2.- *Identificación y delineación las alteraciones antrópicas.*

Generación cartográfica de capas de información con todas las intervenciones antrópicas que suponen algún tipo de pérdida de naturalidad. Se realiza a partir de ortofotografía aéreas con imágenes proporcionadas por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y de WorldImagery⁶. Sobre ellas se han delineado tanto usos del suelo convencionales, que suponen algún tipo de pérdida de naturalidad, como cualquier tipo de alteración de la pérdida de naturalidad observado sobre el territorio. Se incluyen elementos como excavaciones, suelos desnudos, montículos de material, brechas, superficies quemadas, filtros camarones, etc. Todos aparecen compilados y codificados en el Cuadro N°2. Esto último implicó trabajar con un alto nivel de resolución espacial.

3.- *Asignación del potencial de pérdida de naturalidad a las alteraciones antrópicas.*

A cada alteración identificada se le ha otorgado un valor que indica el potencial de pérdida de naturalidad (Cuadro N°2). este valor oscila entre 0 y 1, aumentando la pérdida de naturalidad en los valores superiores.

⁶ <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=10df2279f9684e4a9f6a7f08feb2a9>

Se trata de una adaptación de los valores de alteración del paisaje empleada por Ortiz Pérez et al. (2015), que a su vez se fundamentan en la propuesta conceptual de Mateo & Ortiz (2001) basada en la teoría de Geosistemas de Sochava (1972). De esta manera a cada alteración identificada se le asignan pesos en función de su importancia relativa, al estilo de estudios análogos (Belem & Nucci, 2011; Walz & Stein, 2014; Requena et al., 2020; Borges do Couto et al., 2022). La especificación concreta de ese potencial de pérdida de naturalidad se realizó a través de consulta a expertos. Con ello se ajustaron los valores las particularidades del área de estudio, tal y como también lo hacen trabajos precedentes para sus respectivas áreas de estudio (Walz & Stein 2014; Torres-Gómez et al., 2009; Borges do Couto et al., 2022; Seabra et al., 2024).

Cuadro N°2.

Alteraciones antrópicas y su grado de potencial pérdida de naturalidad

Alteración antrópica	Código	Medio de alteración	Potencial de pérdida de naturalidad
Sustrato			
Desprotección del sustrato (suelo desnudo)	1	Terrestre	1
Remoción y/o excavación del sustrato	2	Terrestre	1
Acumulación de nuevos elementos alterados y disgregados (montículos)	3	Terrestre	1
Superficie deforestada (planicie de vegetación secundaria de pastizal con especies arbóreas abierta)	21	Terrestre	0.5
Superficies quemadas	22	Terrestre	0.7
Suelo desnudo sobre cordones	24	Terrestre	0.9
Vías de Comunicación			
Carreteras asfaltadas	4	Terrestre	1
Caminos marcando clara diferencia con su contorno	5	Terrestre	0.8
Caminos poco diferenciados de su contorno	6	Terrestre	0.8
Brechas o veredas	7	Terrestre	0.4
Agricultura			
Agricultura de herbáceos o huerta	9	Terrestre	0.8
Agricultura arbórea	10	Terrestre	0.5
Alteraciones en campos de cultivo: erosión	11	Terrestre	0.5
Alteraciones en campos de cultivo: salinidad	12	Terrestre	0.5
Alteraciones en campos de cultivo: humedad	13	Terrestre	0.5
Bardas naturales delimitando parcelario (cercos vivos)	14	Terrestre	0.2
Cultivo abandonado/Pastizal crecido	25	Terrestre	0.5
Agricultura herbácea degradada	27	Terrestre	0.8
Agricultura herbácea seca	28	Terrestre	0.8
Campo de cultivo abandonado: indiferenciado	29	Terrestre	0.5
Arrozal	30	Terrestre	0.8
Ganadería			
Pastizales para ganado	15	Terrestre	0.7
Vegetación			
Manglar degradado	16	Húmedo	0.2
Pastizal sobre cordones (vegetación halófito)	23	Terrestre	0.2
Zona sin vegetación	31	Terrestre	0.5

Alteración antrópica	Código	Medio de alteración	Potencial de pérdida de naturalidad
Agua			
Filtros camareros (Tapos)	18	Húmedo	0.7
	20		
	31		
Humedad			
Blanquizales	19	Húmedo	0
Poblamiento			
Edificaciones	8	Terrestre	1

Fuente: elaboración propia

4.- Valoración la pérdida de naturalidad global en las unidades geomorfológicas.

A continuación, se han superpuesto las alteraciones antrópicas con las unidades geomorfológicas identificadas en el primer paso, tras lo cual se identifican los polígonos de la capa de alteraciones que implican algún tipo de pérdida de naturalidad dentro de cada unidad geomorfológica. Una vez conseguido lo anterior se ponderan cada una de sus respectivas áreas por el potencial de pérdida de naturalidad que específicamente les corresponde. A tal efecto se aplica la siguiente fórmula:

$$Spon = SP \cdot PPN$$

Donde






Spon = Superficie ponderada

SP = Superficie del polígono

PPN = Potencial de pérdida de naturalidad

Finalmente se realiza el sumatorio de todas esas áreas ponderadas en cada unidad geomorfológica, para obtener un coeficiente que oscila entre 0 y 1. Este resultado se reclasifica en 5 intervalos numéricos (Cuadro N°3), consiguiendo así otorgar un grado de pérdida de naturalidad a cada unidad geomorfológica.

Cuadro N°3.
Intervalos de pérdida de naturalidad

Intervalo	Características paisajísticas	Estructura territorial	Grado
0	Paisaje homogéneo natural.		Natural
0.1-0.25	Paisaje natural con trazos de alteración.		Semi-natural
0.251-0.50	Paisaje semitransformado con trazos inducidos de vegetación secundaria.		Alterado
0.51-0.75	Paisaje semiartificial urbano de baja densidad con trazos de vegetación secundaria.		Muy alterado
0.751-1.00	Paisaje urbano con relictos de vegetación.		Transformado

4. Resultados

Se exponen en primer lugar aspectos generales, derivados de la regionalización geomorfológica y del análisis de pérdida de naturalidad; en una segunda subsección se profundiza en los detalles específicos y en la tercera se describen los vínculos de la pérdida de naturalidad con topografía, geomorfología y la dinámica territorial en general.

Aspectos generales

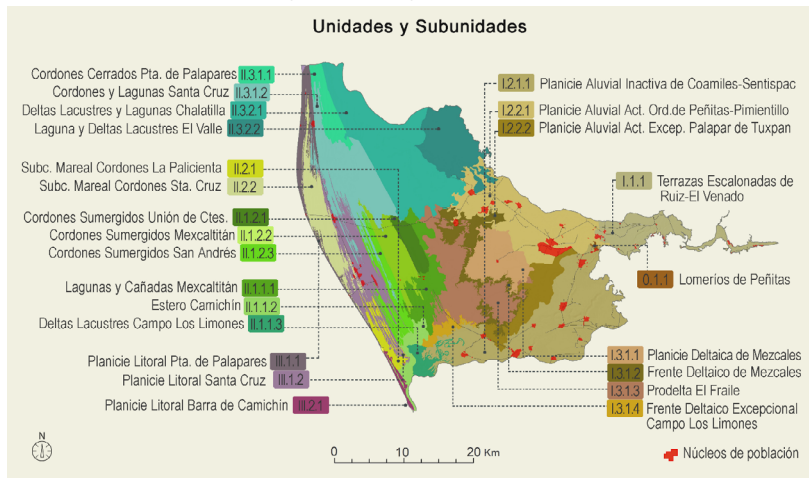
Las categorías resultantes del análisis geomorfológico se muestran en la Figura N°3. Además de las geoformas, en el proceso de compartimentación del territorio se han considerado las unidades, secciones y subsistemas en los que están anidados. Esto ha permitido codificar las unidades resultantes, tal y como se muestra en el Cuadro N°4.

Cuadro N°4
Codificación de las unidades geomorfológicas

Sistema	Subsistema	Sección	Unidad	Subunidad (Geoforma)	
Llanura Costera del Río San Pedro	0. Elevaciones	0.1. Sierras Aisladas	0.1.1.	0.1.1	
	I. Planicie Fluvial	I.1. Terrazas Fluviales	I.1.	I.1.1	
			I.2.1.	I.2.1.1	
		I.2. Planicies Aluviales	I.2.2.	I.2.2.1	
				I.2.2.2	
		I.3. Planicies Deltaicas	I.3.1.		I.3.1.1
					I.3.1.2
				I.3.1.3	
	II. Planicie Lacustre	II.1. Cuenca Mareal 1	II.1.1.		II.1.1.1.
					II.1.1.2.
					II.1.1.3.
			II.1.2.		II.1.2.1.
					II.1.2.2.
					II.1.2.3.
		II.2. Cuenca Mareal 2	II.2.1.	II.2.1.	
			II.2.2.	II.2.2.	
		II.3. Cuenca Mareal 3	II.3.1.		II.3.1.1.
					II.3.1.2.
	II.3.2.			II.3.2.1.	
				II.3.2.2.	
III. Planicie Litoral	III.1. Planicie Litoral 1	III.1.1.	III.1.1.		
		III.1.2.	III.1.2.		
	III.2. Planicie Litoral 2	III.2.1.	III.2.1.		

Fuente: elaboración propia

Figura N°3.
Zonificación geomorfológica de la zona de estudio



Fuente: elaboración propia

La aplicación de la metodología se sintetiza en los datos del Cuadro N° 5, donde se muestran los resultados obtenidos y el nivel de alteración correspondiente

Cuadro N°5
Resultados tabulados del cálculo de la pérdida de naturalidad por subunidad

Subunidad geomorfológica		ST	NT	ΣSP	ΣSC	VGPN	GPN
Clave	Nombre						
O.1.1	Lomerios de Peñitas	0,69	95	0,59	0,5	0,66	Muy Alterado
I.1	Terrazas escalonadas de Ruiz-El venado	53,15	1615	41,37	31,1	0,58	Muy Alterado
I.2.1.1	Planicie Aluvial Inactiva de Coamiles-Sentispac	192,33	142873	171,32	133,1	0,69	Muy Alterado
I.2.2.1	Planicie Aluvial Activa Ordinaria de Peñitas-Pimientillo	134,28	63244	114,19	90,2	0,64	Muy Alterado
I.2.2.2	Planicie Aluvial Activa Excepcional del Palapar de Tuxpan	44,21	43430	29,91	22,9	0,52	Muy Alterado
I.3.1.1	Planicie Deltaica de Mezcales	52,15	49311	46,48	37,0	0,71	Muy Alterado
I.3.1.2	Frente Deltaico de Unión de Corrientes	45,87	49909	29,15	22,3	0,49	Alterado
I.3.1.2	Frente Deltaico Excepcional Campo Los Limones	11,17	2564	6,06	4,6	0,41	Alterado
I.3.1.3	Prodelta El Fraile	94,90	48129	36,68	27,8	0,29	Alterado
II.1.1.1	Lagunas y Cañadas Mexcaltitán	44,57	3031	13,09	3,0	0,07	Semi-natural
II.1.1.2	Estero Camichín	18,96	294	1,79	0,5	0,03	Semi-natural
II.1.1.3	Deltas Lacustres Campo Los Limones	14,66	2166	5,63	2,9	0,20	Semi-natural
II.1.2.1	Cordones Sumergidos Unión de Corrientes	18,53	2137	10,46	2,4	0,13	Semi-natural
II.1.2.2	Cordones Sumergidos Mexcaltitán	37,01	1314	14,06	5,5	0,15	Semi-natural
II.1.2.3	Cordones Sumergidos San Andrés	35,42	2627	17,60	6,9	0,19	Semi-natural
II.2.1	Lagunas, Esteros y Pantanos La Palicencia	14,77	367	1,97	1,1	0,08	Semi-natural
II.2.2	Cordones Sumergidos Santa Cruz	50,57	17520	23,00	11,7	0,23	Semi-natural
II.3.1.1	Cordones Cerrados Puerta de Palapares	26,15	6	1,29	0,3	0,01	Semi-natural
II.3.1.2	Cordones y Lagunas Santa Cruz	106,26	5652	27,79	9,8	0,09	Semi-natural

Subunidad geomorfológica		ST	NT	ΣSP	ΣSC	VGPN	GPN
Clave	Nombre						
II.3.2.1	Deltas Lacustres y Lagunas Chalatlilla	164,36	541	30,07	9,9	0,06	Semi-natural
II.3.2.2	Laguna y Deltas Lacustres El Valle	71,22	1010	7,74	6,2	0,09	Semi-natural
III.1.1	Planicie Litoral Puerta de Palapares	32,48	3183	20,19	11,9	0,37	Alterado
III.1.2	Planicie Litoral Santa Cruz	65,32	9229	46,89	31,7	0,48	Alterado
III.2.1	Planicie Litoral Barra de Camichín	4,68	146	2,16	1,4	0,30	Alterado

ST: Área de la unidad geomorfológica (km²).

NT: Número de polígonos cuyo uso del suelo implican alguna alteración de la naturalidad.

ΣSP: Sumatorio de todas las áreas de los polígonos que implican alguna alteración a la naturalidad (km²).

ΣSC: Sumatorio de las áreas de cada uno de los polígonos que implican alguna alteración de la naturalidad tras aplicárseles el factor corrector de sus respectivos potenciales de pérdida de naturalidad (km²).

VGPN: Valor del grado de pérdida de naturalidad (ΣSC/ST).

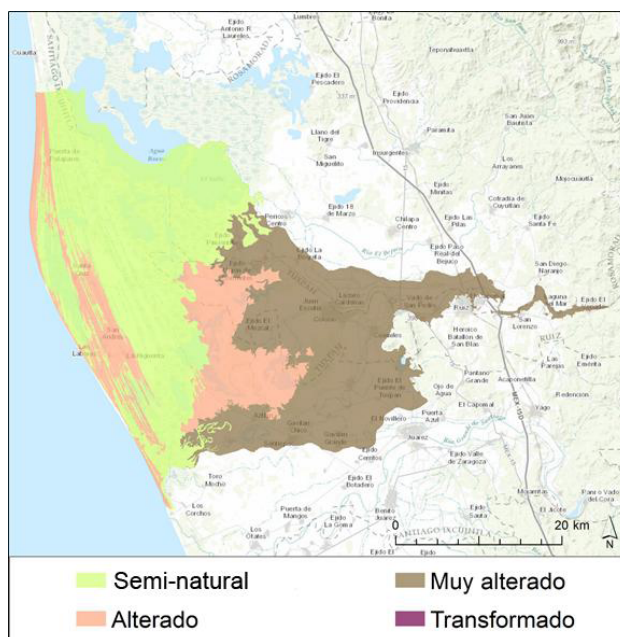
GPN: Grado de pérdida de naturalidad.

Fuente: elaboración propia

En el resultado obtenido se observa la existencia de un alto grado de pérdida de naturalidad, que aumenta, en líneas generales, desde áreas interiores hacia la costa. Con una tipología de alteración de alto grado se encuentran las unidades localizadas sobre las planicies y terrazas aluviales centrales y orientales. En el siguiente gradiente aparecen como alteradas algunas áreas de los frentes deltaicos caracterizadas por albergar un menor uso agrícola. En las zonas más próximas a la costa, aparecen unidades de deltas lacustres, esteros y cordones que poseen escasa actividad agrícola y suponen el mayor grado de naturalidad de la zona analizada. Estas se han valorado como semi-natural, y no absolutamente naturales, debido a las alteraciones halladas en algunas zonas de las planicies litorales. El esquema general de clasificación se observa en la Figura N° 4.

Figura N°4.

Grados de pérdida de naturalidad resultantes por subunidades geomorfológicas



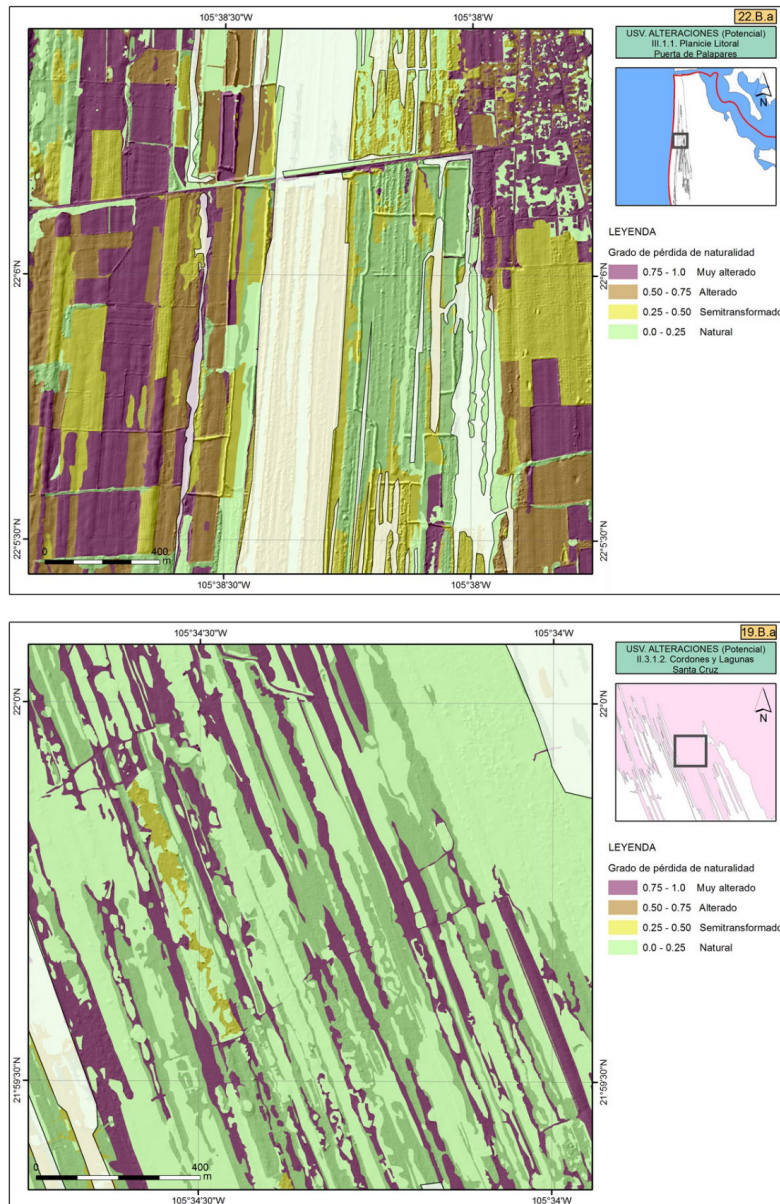
Fuente: elaboración propia

Aspectos específicos

Dada la escala a la que se ha realizado este trabajo, aproximadamente 1:1500, la representación de los resultados a esa misma resolución para toda el área de estudio se hace ciertamente inviable en el formato de esta publicación, sin embargo, en la Figura N° 5 puede apreciarse dicho detalle a través de algunas muestras de cartografía expuesta a una resolución mucho más cercana a la mencionada escala de trabajo real.

Figura N°5.

Cartografía de potencial de pérdida de naturalidad. Ej. a escala de detalle



Fuente: elaboración propia

En la Figura N°6 se especifica el grado de pérdida de naturalidad resultante para cada subunidad geomorfológica, así como el porcentaje de usos del suelo de los diferentes tipos detectados en cada una de ellas.

Como puede observarse, en las unidades con grado seminatural de pérdida de naturalidad es claro el predominio de superficies clasificadas como naturales. Además, la agricultura se presenta como la alteración antrópica que copa la mayor parte de superficie clasificada como alterada. Es por ello que, en las unidades con grado de alteración alto, esta actividad represente más de la mitad de la superficie total. Esto destaca en la unidad Planicie Deltaica de Mezcales, cultivada en más del 80 %.

Los resultados aparecen esquematizados en la Figura N°7, en la que se representa la proporción de grado de naturalidad por subunidad.

Figura N°6.

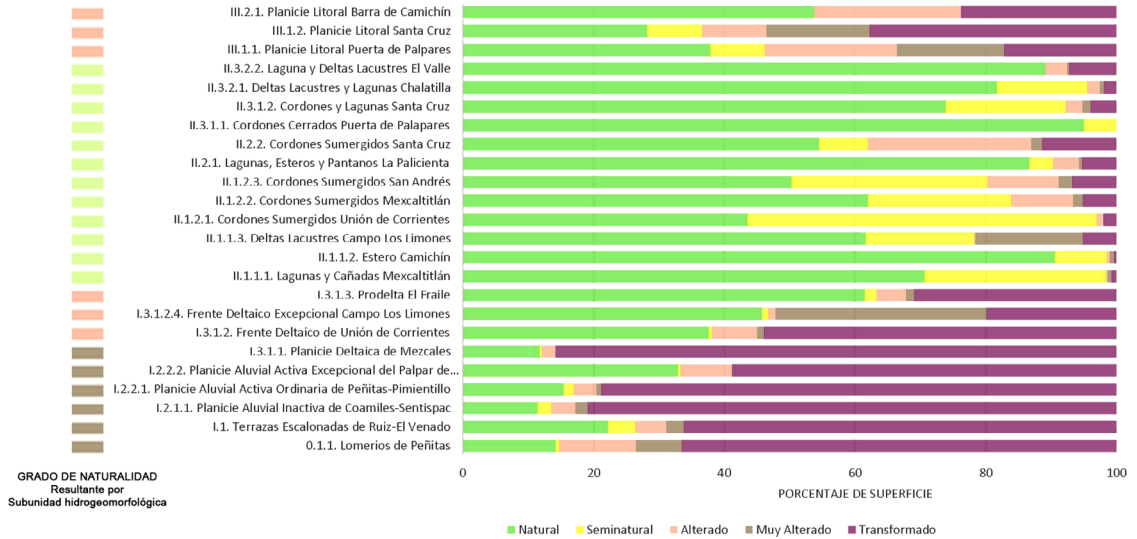
Grado de pérdida de naturalidad resultante para cada subunidad geomorfológica (izq.) y porcentaje de usos del suelo de los diferentes tipos detectados en cada una de ellas



Fuente: elaboración propia

Figura N°7.

Grado de pérdida de naturalidad resultante por unidad geomorfológica (izq.) y porcentaje de superficie afectada en cada una de ellas clasificada en función de su grado de pérdida de naturalidad (dcha.)



Fuente: elaboración propia

Vínculos con la topografía, geomorfología y dinámica territorial

La observación de los resultados del análisis de la pérdida de naturalidad demuestra una relación espacial con la configuración del relieve. La ocupación del suelo con usos considerados como alteraciones de la naturalidad es más notable allí donde las alturas aumentan. Esta circunstancia se observa de manera general en toda la cuenca baja del San Pedro. Allí, la unidad de terrazas, y las llanuras aluviales, en el entorno de la ciudad de Tuxpan, conforman los terrenos más elevados del área de estudio y también los más afectados por la pérdida de naturalidad. Por su parte, las pendientes no son un factor decisivo en la distribución de la pérdida de naturalidad, puesto que estas son suaves y homogéneas en la mayor parte del área de estudio.

Los resultados del estudio arrojan los valores más bajos de hemerobia en las unidades compuestas por cordones, deltas lacustres o cordones sumergidos que se extienden por toda la mitad occidental de la zona de estudio. Sin embargo, las más bajas no se salvan de la intervención humana, y por tanto de la pérdida de naturalidad. Al respecto, se observan algunas zonas inundables (de baja cota) transformadas por aprovechamientos intensivos acuícolas en la zona oriental de la unidad denominada Laguna y Deltas Lacustres El Valle (II.3.2.2.). Estas instalaciones han alterado la estructura del paisaje y su funcionalidad natural.

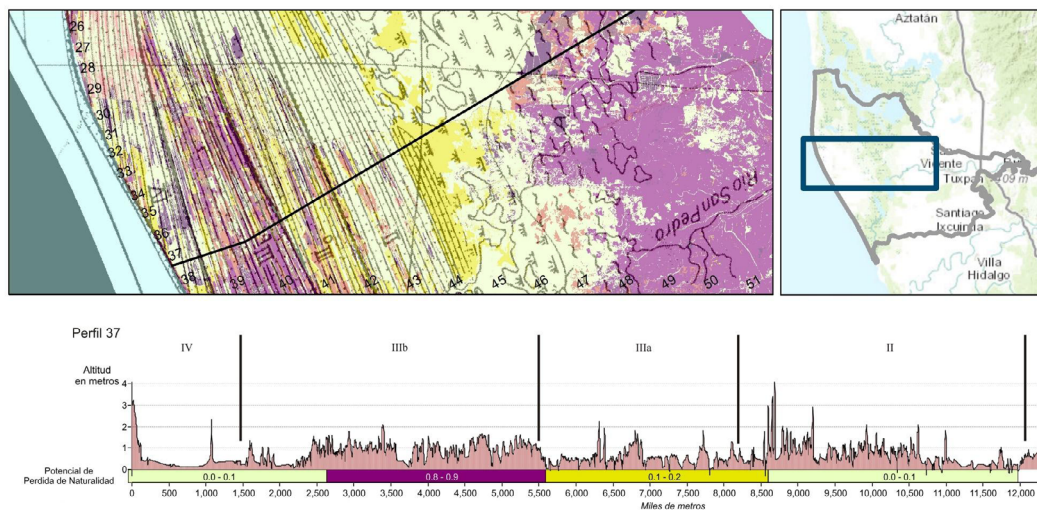
Sin embargo, no toda la actividad humana en la marisma o en los cuerpos de agua supone una alteración de la funcionalidad natural del sistema. La actividad económica puede ser más respetuosa con este medio si se adapta al él, aprovechando sus condiciones naturales sin alterarlas de manera severa. Se tiene constancia de actividades armónicas con el medio, como por ejemplo el turismo de naturaleza, la pesca no intensiva e incluso el turismo patrimonial sobre áreas ya

alteradas, pero de forma muy puntual, como es el caso del poblado de Mexcaltitán. Este tipo de actividades nacen del propio aprovechamiento del territorio por parte de la población local en una suerte de desarrollo endógeno sostenible. Dichos usos no necesitan en principio grandes controles o medidas correctoras para evitar alteraciones en la funcionalidad natural del sistema, sin embargo, si deben ser más vigilados aquellos grandes aprovechamientos que podrían suponer alteraciones de mayor entidad. Ejemplo de esto último son las granjas acuícolas de gran extensión o la propia PH Las Cruces (Orndorff, 2020). Estas instalaciones en la mayoría de las ocasiones son promovidas por actores externos derivados de la dinámica económica global. Estas fuerzas externas o *external forces* (Turner et al. 2003) actúan por supuesto, al igual que las actividades económicas locales (más sostenibles), en la búsqueda del beneficio económico, sin embargo, las afectaciones colaterales de estas actividades implantadas por fuerzas externas son de mucho mayor entidad que las ejercidas por los locales. En virtud de lo anterior es necesario evaluar estas repercusiones y afinar buenas medidas correctoras.

Con respecto a la geomorfología, la estructura del medio físico determina en ocasiones el uso y las transformaciones del espacio natural por parte del ser humano. En la zona de los cordones las ligeras variaciones altitudinales y geomorfológicas se ven reflejadas en cambios del potencial de pérdida de naturalidad. La Figura N°8 muestra una porción de la cartografía a detalle que comprende dos unidades geomorfológicas: Cordones Sumergidos Santa Cruz (II.2.2.) y Cordones y Lagunas Santa Cruz (II.3.1.2.). En la misma se puede observar la coincidencia espacial casi perfecta entre los paquetes de cordones de dunas delimitados por Curray et al. (1969) y el potencial de pérdida de naturalidad.

Figura N°8.

Superposición del potencial de pérdida de naturalidad sobre los paquetes de cordones diferenciados por Curray et al. (1969).



Fuente: elaboración propia a partir de Curray et al. (1969) y Worldimagery

5.-Discusión

Desde el punto de vista del análisis geoecológico se constata como las características geomorfológicas están relacionadas con la degradación ambiental resultante en este trabajo. Su interpretación a la luz de estudios previos permite detectar indicios que relacionan esta degradación con la geomorfología de dos formas distintas: 1) determinando una vulnerabilidad física diferente de las distintas unidades frente a los distintos tipos de degradación ambiental (enfoque *geomorfológico-focal*); 2) otorgando aptitudes distintas para la implantación de usos del suelo antrópicos; confiriendo mayor "atractivo" a ciertas unidades para su aprovechamiento en comparación con otras (enfoque *geomorfológico-contextual*).

Respuesta física diferenciada en función de las propiedades geomorfológicas

Por una parte, se advierte que las características físicas influyen en la vulnerabilidad de cada unidad, generando diferentes grados de degradación ambiental, lo que coincide con estudios que adoptan un enfoque *geomorfológico-focal*. Al respecto, Blanco Correa et al. (2011) indica que en las áreas estuarinas de Marismas Nacionales los variados componentes y procesos de cada una de ellas (con sus modalidades y umbrales diversos), responden de manera diferente ante presiones similares.

Además, otras investigaciones constatan este comportamiento diferenciado en función de la geomorfología en la zona de estudio.

La planicie fluvial (Subsistema I), en el centro y este de la zona de estudio, se caracteriza por procesos de acumulación o erosión alternantes. La interacción entre erosión y sedimentación es compleja y moldea los lechos de inundación dentro de un sistema de equilibrio difícil de analizar y definir (Ortiz Pérez, 1978), lo cual también es constatado en el cercano Río Baluarte, al norte de Marismas Nacionales, donde los abanicos de displayamiento son observados aguas abajo de los cursos abandonados (Ortiz Pérez et al., 2010).

Otro elemento de degradación distintivo de la planicie fluvial son los rasgos de erosión sobre los cultivos, registrada en el cuadro de N°2 alteraciones (código 11). Estos se observaron claramente en las fotografías áreas empleadas. Sin embargo, en imágenes áreas de fechas anteriores (Vilches et al., 2024) son más patentes los vertederos de displayamiento, que junto con los diques naturales predominan en momentos de mayor sedimentación.

Los eventos meteorológicos extremos, tormentas y huracanes, afectan también de forma diferente las unidades geomorfológicas. Una consecuencia diferenciadora en la zona deltaica y la costa (subsistema II) es la pérdida de manglar debido a la afectación sobre los doseles. En general esta desaparición ha ido intensificándose para el caso del mangle blanco y mangle negro desde 1994 con el huracán Rosa (Valdez-Hernández et al., 2009). En 2018, con Willa, se perdieron el 78% de los doseles de manglar rojo en el conjunto de Marismas Nacionales (Vizcaya et al., 2022). Esta característica afectación de las áreas de humedal también es constada en otras áreas como, por ejemplo, en el sureste de la península de la Florida, donde la causa fue el huracán Irma (Lagomasino et al., 2020).

Estas pérdidas de manglar se pueden ver acentuadas por la erosión costera en las áreas litorales, haciendo de esta circunstancia una característica singular de degradación de la costa. Se estima que este fenómeno ha sido el causante de unas 10000 hectáreas de llanuras litorales, que posiblemente albergaban entre un 20% y un 50% de manglares (Blanco Correa et al. (2011).

El subsistema III, Planicie litoral, formado por cordones dunares consolidados, es más elevado que las cuencas mareales adyacentes. Esta propiedad, unido a su estabilidad (Blanco Correa et al., 2011) le confiere mayor resistencia al impacto de los agentes meteorológicos. En el caso del sector norte de Marismas Nacionales, su dureza es similar a la de la roca firme (Ortiz Perez et al., 2010).

En vista de estos y otros rasgos distintivos, la zonificación del análisis de la pérdida de naturalidad según las características geomorfológicas resulta un enfoque coherente, dadas las respuestas o diferenciadas que cada sector ofrece a los procesos de degradación ambiental. El fundamento es compartido por otras investigaciones. En el caso de los humedales McCarthy (2009) considera que una de las metas principales en el manejo es el mantenimiento de los procesos geomorfológicos característicos a pesar de las limitaciones que imponen los usos del suelo de carácter antrópico. Algo que está en lógica con lo reportado para Marismas Nacionales por Blanco Correa et al. (2011), quienes constataron que los impactos más característicos que son recibidos por áreas estuarinas y costeras (alteración mareal, erosión litoral, desequilibrio hidrosedimentario) afectan de forma muy diferente a cada humedal en función de sus características hidrogeomorfológicas.

En este estudio, la cartografía inicial de las unidades muestra consistencia con los estudios geomorfológicos anteriores (Romo & Ortiz, 2001; Blanco Correa et al., 2009; Blanco Correa et al., 2010; Blanco Correa et al., 2011; Blanco Correa, 2014) y supone una ampliación y actualización de estos. Todas hacen énfasis en la complejidad de este sistema hidrosedimentario y su relación directa entre las geoformas y la dinámica sedimentaria.

Con ello se ha conseguido delimitar unidades que por sus características hidrogeomorfológicas respondan de manera similar a los embates de otros factores del espacio geográfico. Es algo observado en otros trabajos que analizan específicamente la degradación ambiental geocológica (Balderas et al., 2015, Niño et al., 2023). Tooth et al., 2014, indican al respecto de los humedales que los procesos geomorfológicos dan forma a la estructura física, lo que afecta el movimiento del agua, los sedimentos y los nutrientes, estableciendo el marco en el que se desarrollan los procesos ecológicos.

Sin embargo, la sola consideración de aspectos naturales en el estudio de la degradación del paisaje puede conllevar un sesgo determinista, más si cabe desde la perspectiva geocológica (Mateo & da Silva, 2007). Si en el área de estudio no estuvieran presente las actividades primarias, y los únicos factores de degradación fueran de origen natural, es probable que la subunidad I (humedales) aparecería en los resultados como la más degradada en comparación con el resto, a causa del efecto sobre el manglar de los huracanes, los cambios en la salinidad o la erosión costera. Es decir, justo el resultado contrario al que arroja este estudio. De ahí la necesidad de incluir a las propiedades geomorfológicas en un contexto más amplio, donde influyen en las decisiones sociales sobre el aprovechamiento de los recursos naturales; explotados en función de las capacidades técnicas y de las decisiones sociales (Dollfus, 1976).

La geomorfología como condicionante de la actividad humana

Esta consideración, en la que la geomorfología es un factor condicionante del uso del suelo, otorga coherencia a los resultados obtenidos y los alinea con los de investigaciones previas, en diversos contextos geográficos.

Trabajos anteriores sobre degradación ambiental en la misma región coinciden con este en que la zona más antropizada es la planicie central y oriental de la zona de estudio (Hernández et al., 2008), por su aptitud para actividades como la agricultura, ganadería y la acuicultura. Quintero et al. (2021) advierte de tres décadas de grandes retrocesos en superficies forestales en favor de la agricultura. No solo en la planicie fluvial, sino sobre zonas de manglar (Quintero et al. (2021). De hecho, esta antropización derivada de la agricultura en la región nororiental de México es una circunstancia también constatada por otros estudios (Ruiz & Berlanga, 1999; Berlanga y Ruíz, 2002; Alonso et al., 2003).

En otras partes del mundo se constatan también procesos de hemerobia facilitados por las condiciones geomorfológicas (Peña-Cortés et al., 2006; Moresco & Silva, 2016; Vergara & Ibarra, 2018; Yi et al., 2021), donde las cartografías resultantes muestran distribuciones de la hemerobia similares a las observadas en sus respectivos mapas geomorfológicos. Por ejemplo, Niño et al. (2023), constatan como en un área montañosa, la actividad humano ha transformado el 87,28% de los espacios colinares mientras que en áreas geomorfológicamente diferentes como las sierras, las afecciones antrópicas son distintas, por ejemplo la tala forestal. Algo similar ocurre en la cuenca del río Mourao (Brasil); lo constatan Moresco & Silva (2016) indicando que la agricultura se desarrolla principalmente en zonas con pendientes más suaves, donde las condiciones geomorfológicas permiten dicha actividad de manera más eficiente, mientras que la silvicultura y los fragmentos de bosque se encuentran en áreas de pendiente más elevada. También Yi et al. (2021) concluyen que en su conjunto la interferencia humana fue generalmente más fuerte en las áreas menor pendiente.

Por tanto, a la luz de lo observado, se constata que la decisión de esta colonización viene dada por lógicas económicas o de subsistencia que consideran rentable la transformación de los espacios, confrontando en esta valoración los rendimientos económicos frente a los costes de puesta en valor técnicos o económicos (Dollfus, 1976). Así se puede entender que la planicie lacustre (Subsistema II) sea la menos afectada por la antropización ya que factores como la marea y la salinidad (00912 Blanco et al. 2011) limitan la presencia humana.

La capacidad técnica para salvar los condicionantes geomorfológicos

Sin embargo, el empleo de las capacidades técnicas permite a las sociedades transformar espacios a priori más hostiles desde el punto de vista geomorfológico. Esto ha permitido la existencia de algunas actividades como la acuicultura, entre otras intervenciones antrópicas, que son fuente de degradación ambiental en las áreas con menor pérdida de naturalidad.

El cultivo principalmente de camarón, técnicamente más complejas de implantar es la una fuente importante de degradación ambiental en las áreas pantanosas. Las granjas acuícolas han proliferado tanto en el área de estudio como en espacios adyacentes de Marismas Nacionales debido a intereses

económicos nacionales e internacionales (Secretaría de la Convención Ramsar, 2001). Esto ha implicado deforestación y cambios en el patrón hidrológico por la construcción de bordos para desviar los cauces de agua dulce (Adame et al., 2018), lo cual a su vez ha inducido a la salinización excesiva de algunas franjas pantanosas adyacentes. (Secretaría de la Convención Ramsar, 2001).

En otros contextos sucede algo similar. Peña-Cortés et al. (2006) describen como en La Araucanía (Chile) la actividad agrícola tradicional también ha antropizado la mayor parte de la superficie de humedales. Circunstancia que, sin embargo, no se advierte en las zonas pantanosas del mismo país (Vergara et al. (2019).

También en el subsistema I, la tecnificación ha modificado propiedades geomorfológicas distintivas de dicha unidad en apoyo del sector agrícola. Los espacios llanos de la planicie fluvial pueden ofrecer resistencia natural al cultivo por entarquinamiento (Ortiz Pérez, 1978). Esto ha provocado una intensa modificación del patrón de drenaje para aliviar este problema (Secretaría de la Convención Ramsar, 2001), lo cual ha aumentado la escorrentía en dicha planicie, resultando en desarreglos en el funcionamiento hidrológico (Hernández et al., 2008). Sin embargo, esta misma artificialización del paisaje es susceptible de ocasionar el efecto contrario, al trabar la conectividad de los escurrimientos de sedimentos (Favis-Mortlock et al., 2022).

Esta modificación artificial de ambientes que en principio son menos apropiados para el desarrollo de la agricultura, está basada en capital y conduce a casos extremos en que las características físicas dejen de ser una limitante tan clara para la antropización del paisaje. Ejemplos extremos son los cultivos de aguacate en altas laderas de valles, que han generado fuertes problemáticas ambientales en regiones de Chile (Ebert, 2018) o España (Cantarero et al., 2020).

Consideraciones sistémicas

Los procesos y formas diferentes que caracterizan a las unidades geomorfológicas implican también funciones ecológicas diferenciadas dentro del sistema estudiado (Blanco et al, 2011). Por tanto, Los resultados son una llamada de atención por sus repercusiones sistémicas, al existir posibilidad de transmisión de la degradación desde las áreas más afectadas hacia las unidades seminaturales.

La actividad agrícola en la Planicie Fluvial y mitad oriental de la Planicie Deltaica propicia algunas alteraciones hidrológicas, que a su vez tienen consecuencias ambientales negativas en la planicie lacustre (Subunidad II), como el deterioro de esteros y la substitución del hábitat natural (Blanco et al., 2011). Además, este fenómeno ha agravado por el empleo de insumos agroquímicos (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegida, 2008).

También la construcción de carreteras, líneas de ferrocarril y la apertura de bocas al mar abierto ha alterado la influencia mareal, con importantes repercusiones como la transformación de franjas pantanosas en llanos salitrosos que impiden el desarrollo de la vegetación (Secretaría de la Comisión Ramsar, 2001).

Fenómenos como la erosión costera también podrían aumentar debido a la citada alteración de los balances. Aunque los estudios sobre la evolución reciente de franja costera en la zona de

estudio no son coincidentes (Curry et al.; 1969 Aco, 2003; Cruz González, 2012, Martínez Martínez, 2016), las perspectivas generales para México no invitan al optimismo (López Espinosa et al., 2022) en vista de los numerosos efectos degradantes que el cambio climático puede conllevar sobre las costas mexicanas (Yañez & Day, 2010).

Oportunidades de mejora

Nuevos tipos de estudio se podrían reorientar tomando como referencia estos grados transferencia espacial de la degradación, en la que unas unidades influyen sobre otras.

En el caso concreto de esta área de estudio, dada su ramificada red de drenaje, sería de interés enfocar este análisis en la estructura hidrológica del paisaje. A tal efecto existen experiencias recientes en áreas deltaicas que pueden ser tenidas en cuenta (Montaño & Carvajal, 2008; Qiu et al., 2024).

El entendimiento de esta estructura implicaría el estudio específico de la compleja red hidrológica. Los resultados del análisis se podrían ser aplicados a eventuales escenarios de ascenso del nivel del mar en el contexto actual de cambio climático. No solo por el progresivo avance del océano, sino, además, por contemplar también pulsos o fluctuaciones extremas. El huracán Willa en 2018 es un claro ejemplo cuyas consecuencias (Senado de la República, 2018) pusieron a prueba la estabilidad tecnogénica o capacidad homeostática del paisaje (Zvonkova, 1985).

6. Conclusiones

Existe una estrecha conexión entre la pérdida de naturalidad del territorio y la aptitud de este para el desarrollo de actividades antrópicas. Esta capacidad de albergar actividad económica ha derivado en una inevitable pérdida de naturalidad, sustituyendo a la estructura natural preexistente.

Se advierte una mayor alteración del territorio en las unidades más alejadas a la línea costera, la naturalidad aumenta proporcionalmente hacia la costa atlántica donde, a excepción de la Planicie Litoral Alta del Río San Pedro, se posicionan las unidades con menor pérdida de naturalidad.

De los resultados obtenidos se extrae como conclusión que el 45 % del territorio objeto de análisis tiene carácter semi-natural, ocupando doce de los subsistemas localizado en la zona occidental. En el lado opuesto, las unidades orientales, localizadas en la Planicie Fluvial, se caracterizan por estar alteradas (tres unidades) y muy alteradas (seis unidades) por la actividad antrópica, donde la actividad predominante es agrícola.

El uso agrícola de esta zona ha propiciado la modificación de la estructura hidrológica con la apertura incontrolada de canales para proveer de agua a los cultivos. Si son evaluados de manera individual, estos canales tienen un impacto bajo en la dinámica hidrosedimentaria de un sistema tan extenso como Marismas Nacionales. Sin embargo, su gran número hacen que su impacto sea acumulativo (Martínez & Lithgow, 2016). Además, parte de esta área ya no es anegada periódicamente por las avenidas del San Pedro, pues está controlado desde Tuxpan por un bordo que concentra el flujo a partir de Tuxpan. Por otro lado, la red de caminos y carreteras que se construyen

al nivel de los cauces y cuerpos de agua pueden ser en algún momento obstáculo para el flujo tanto hídrico como de sedimentos.

A través del presente trabajo se sientan bases cartográficas y analíticas para avanzar en la estimación de posibles repercusiones en la estructura del paisaje del área de influencia del río San Pedro en Marismas Nacionales. La metodología de este trabajo es una propuesta continuadora de la línea abierta por autores como Ortiz Pérez et al. (2015 y 2016) para evaluar la pérdida de naturalidad del paisaje en espacios costeros. Se ciñe a ser una aportación que mida la degradación ecológica mediante una cuantificación de la hemerobia basada en la aplicación de los sistemas de información geográfica en todo el procedimiento.

Sus resultados, aplicados al tramo bajo del río San Pedro Mezquital, presentan un sistema geoecológico degradado por una parte por usos del suelo de tipo primario (agricultura, pesca camaronera, ganadería) mientras que otra permanece en estado semi-natural en virtud de que las condiciones del terreno no permiten su acondicionamiento para usos humanos. La comparación de algunos parámetros como la topografía y la geomorfología no dejan lugar a dudas. En un escenario de cambio climático y previsible ascenso del nivel del mar será necesario prestar atención a la evolución de la franja costera. Cualquier acción humana que pudiera tener repercusiones en esta valiosa área natural deberá ser muy sopesada y medidas sus posibles implicaciones.

Agradecimientos:

Esta investigación surge del proyecto “Los estudios complementarios en materia de políticas de operación, diagnóstico de zonas costeras, transporte de sedimentos y manejo de cuenca, del Proyecto Hidroeléctrico Las Cruces, Nayarit”, sufragado por la Comisión Federal de Electricidad de México y ejecutado por, entre otros, el Instituto de Geografía y el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los coautores dedican este trabajo a la memoria del Dr. Mario Arturo Ortiz Perez, quien nos inculcó que la geomorfología es la base de la vida y del amor y nos animó a trabajar de frente y con valor.

Referencias bibliográficas

ACO. (2003). *Fisiografía y evolución de la planicie costera del delta del río Grande de Santiago, Nayarit, México*. (Tesis de ingeniería geológica). Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Ticomán.

ADAME, M. F., BROWN, C. J., BEJARANO, M., HERRERA-SILVEIRA, J. A., EZCURRA, P., KAUFFMAN, J. B., & Birdsey, R. (2018). The undervalued contribution of mangrove protection in Mexico to carbon emission targets. *Conservation Letters*, 11(4), e12445. <https://doi.org/10.1111/CONL.12445>

AIDE, T. M., CLARK, M. L., RICARDO GRAU, H., LOPEZ-CARR, D., LEVY, M. A., REDO, D., BONILLA-MOHENO, M., RINER, G., ANDRADE-NUÑEZ, M. J., & MUÑIZ, M. (2013). Deforestation and Reforestation of Latin America and the Caribbean (2001-2010). *Biotropica*, 45(2), 262–271. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2012.00908.x>

ALONSO, F., RUIZ, A., TURNER, J., BERLANGA, C. A., & MITCHELSON, G. (2003). Land cover changes and impact of shrimp aquaculture on the landscape in the Ceuta coastal lagoon system, Sinaloa, Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 46(6-7), 583-600. [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(03\)00036-X](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(03)00036-X)

BALDERAS PLATA, M. Á., CANCHOLA PANTOJA, Y. G., ESPINOSA RODRÍGUEZ, L. M., & ORTÍZ PÉREZ, M. A. (2015). Valoración de la degradación geoeológica del paisaje como fundamento para la gestión ambiental. *Revista Latinoamericana El Ambiente y Las Ciencias*, 6(13), 89-106. <https://www.researchgate.net/publication/342314160>

BELEM, A. L. G., & NUCCI, J. C. (2011). Hemerobia das paisagens: Conceito, classificação e aplicação no bairro Pici - Fortaleza/CE. *RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise*, 21, 204-233. <https://doi.org/10.5380/raega.v21i0.21247>

BELEM, A. L. G., & NUCCI, J. C. (2020). Unidades De Paisagem No Bairro Santa Felicidade, Curitiba-Pr: Contribuição para uma cartografia de síntese. *Geo UERJ*, 36, e28982. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2020.28982>

BERLANGA, C. A., & RUIZ, A. (2002). Land use mapping and change detection in the coastal zone of Northwest Mexico using remote sensing techniques. *Journal of Coastal Research*, 18(3), 514-522. <https://journals.flvc.org/jcr/article/view/81311/78450>

BERTANI, L. A. & PEÑA, O. R. (2015). Degradación de tierras y teledetección en planicies próximas a la localidad de centenario, provincia de Neuquén. *Boletín Geográfico*, (37), 13-28. <https://revele.uncoma.edu.ar/index.php/geografia/article/view/1076>

BERTRAND, C., & BERTRAND, G. (1992). Territorialiser l'environnement: Un objectif pour la géographie. *GEODOC. Documents de Recherches de l'UFR. Géographie et aménagement*, Université de Toulouse-Le Mirail.

BERTRAND, G. (1984). Les géographes français et leurs paysages. *Annales de Géographie*, 516, 218-229.

BLANCO CORREA, M. (ED.), GÓMEZ GURROLA, J., OTIS KRUSE, G., VÁZQUEZ MORÁN, V. H., FLORES VERDUGO, F., ORTIZ PÉREZ, M.A., & DE LA LANZA ESPINO, G. (2010). Diagnóstico y Recomendaciones de Uso Sustentable, Restauración y Manejo de la Reserva de la Biósfera Marismas Nacionales, Nayarit. Cambio Climático en Áreas Naturales Protegidas. México, GTZ-CONANP-RDS. Tepic, Nayarit, México, 107 pp.

BLANCO CORREA, J.M. (2014) Análisis del proceso de sedimentación en humedales (Marismas Nacionales) - Ambientes y procesos sedimentarios del Río San Pedro Mezquital en Marismas Nacionales (MaNa). Origen, evolución, situación actual y perspectivas. Acuerdo de Consultoría No. ON94. Reporte técnico final.

BLANCO CORREA, J.M. (2016). 3.1.1. Evaluación del estado del conocimiento. En Silva Casarín, R., Lithgow, A.D. y Mendoza Baldwin, E. (Coords.) (2016). Valoración del medio físico y de los posibles

impactos del PH Las Cruces en la cuenca del río San Pedro Mezquital y Marismas Nacionales. Reporte Final. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

BLANCO Y CORREA, M., FLORES VERDUGO, F., MARIO ARTURO, O. P., DE LA LANZA ESPINO, G., LÓPEZ PORTILLO, J., VALDÉZ HERNÁNDEZ, I., AGRAZ HERNÁNDEZ, C., CZITROM, S., RIVERA ARRIAGA, E., OROZCO, A., JIMÉNEZ RAMÓN, G. A., BENÍTEZ PARDO, D., GÓMEZ GURROLA, J., GONZÁLEZ DÍAZ, A. Á., SORIA BARRETO, M., KRUSE, G. O., JACOBO SAPIÉN, E. A., LÓPEZ CANO, G., BLANCO FUENTES, H., & BLANCO FUENTES, R. (2011). Diagnóstico Funcional de Marismas Nacionales. Informe final de los convenios de coordinación entre la Universidad Autónoma de Nayarit y la Comisión Nacional Forestal con el patrocinio del Gobierno del Reino Unido. Universidad Autónoma de Nayarit. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/3920Diagnóstico Funcional de Marismas Nacionales.pdf>

BLANCO CORREA, M., ORTIZ PÉREZ, M.A., FLORES VERDUGO, F., DE LA LANZA ESPINO, G., JIMÉNEZ ROMÁN, G.A., LÓPEZ PORTILLO, J, GÓMEZ GURROLA, J, GONZÁLEZ DÍAZ, A.A. (2009). Análisis Hidrogeomórfico Conceptual-Espacial del Régimen Natural de Caudales del Río San Pedro en Marismas Nacionales, Nayarit, México. México, Informe Final del Contrato de Asesoría WWF-RDS.

BOCCO, G., MENDOZA, M. E., & VELÁZQUEZ, A. (1999). La regionalización geomorfológica como una alternativa de regionalización ecológica en México. El caso de Michoacán de Ocampo. *Investigaciones Geográficas*, (40), 7-22. <https://doi.org/10.14350/rig.59091>

BORGES DO COUTO, J. P., NUCCI, J. C., & LIBERTI, E. (2022). Hemeroby as an indicator of environmental quality in the Ribeirão dos Padilhas basin, Curitiba - Paraná - Brazil. *Revista Acta Geográfica*, 16(41), 189–210. 10.18227/2177-4307.acta.v16i41.6639

BREUSTE, J. (1998) Special problems and results of urban landscape ecological research. VIII The International Symposium on Problems of Landscape Ecological Research., Bratislava, 1998, v. 1, pp. 21 – 30.

CANTARERO, F. J., GALLEGOS, A. J., VÍAS, J., & GUMIEL, D. (2020). Accelerated change of land uses and repercussions on risks in the territory: The case of the extension of subtropical crops in the Axarquía of Malaga. In Comité Español de la Unión Geográfica Internacional (Coord.), *España, puente entre continentes: Aportación Española al 34º Congreso de la UGI* (pp. 125–138). Ed. Centro Nacional de Información Geográfica. <https://hdl.handle.net/10630/29918>

CHAVES, M. E. D., MATAVELI, G., V. CONCEICAO, K., ADAMI, M., PETRONE, F. G., & SANCHES, I. D. (2024). AMACRO: the newer Amazonia deforestation hotspot and a potential setback for Brazilian agriculture. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 22(1), 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.pcon.2024.01.009>

COATES, D. R. (2021). Environmental geomorphology and landscape conservation Binghamton Geomorphology Symposium 1. Routledge. <https://www.routledge.com/Environmental-Geomorphology-and-Landscape-Conservation-Binghamton-Geomorphology-Symposium-1/Coates/p/book/9780367460358>

COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS. (2008). Estudio Previo justificativo para el establecimiento del área natural protegida con la categoría de Reserva de la Biósfera "Marismas Nacionales Sinaloa. <https://www.cofemersimir.gob.mx/expediente/17892/mir/38241/anexo/1319275>

CONABIO. (2012). *Estrategia Mexicana para la Conservación Vegetal 2012-2030*. CONABIO. <http://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/7403.pdf>.

CONANP (2009). Manifestación de Impacto Regulatorio Proyecto de Decreto de la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales Nayarit en los municipios de Acaponeta, Rosamorada, Santiago Ixcuintla, Tecuala y Tuxpan en el estado de Nayarit. Recuperado de <http://www.cofemermir.gob.mx/uploadtests/15212.66.59.42.Problematica%20Marismas%20Nacionales.pdf>.

CRUZ GONZÁLEZ, M. (2012). Variaciones estacionales en la línea de costa entre el Canal de Cuautla y el Estero de San Cristóbal, Nayarit. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México.

CURRAY, J.R. & D.G.MOORE. (1963). Sedimentos e Historia de la costa de Nayarit, México. *Boletín de la Sociedad Geológica de México*. 26(2), 107-116.

CURRAY, J.R., EMMEL, F.J. & CRAMPTON, P.J.S (1969). Holocene History of a Strand Plain, Lagoonal Coast, Nayarit, México. En: Castañaras, A.A., Phleger, F.B (Eds.), Coastal Lagoons - A symposium (pp. 63-100). Universidad Nacional Autónoma de México.

DA SILVA, F. L., FUSHITA, Â. T., DA CUNHA-SANTINO, M. B., & BIANCHINI JÚNIOR, I. (2021). Estudio limnológico e hemerobia de una microbacia hidrográfica urbana. *Revista Formação*, 28(53), 765-782. <https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/download/8184/6260>.

DE LA LANZA ESPINO, G. (2009). Lo grandioso de los manglares, y lo que se está perdiendo. Instituto de Biología, UNAM. Recuperado de <http://www.smf.mx/C-Global/webMangls.htm>.

DE LA LANZA, G., & GÓMEZ, J. C. (2010). Marco ambiental, social y económico del Sistema Lagunar de Marismas Nacionales, Informe Final WWF.

DOLLFUS, O. (1976). *El espacio geográfico*. Oikos-Tau.

ELLEMBERG, H. (1973) *Ökosystemforschung*. Springer-Verlag.

ERDŐS, L., BEDE-FAZEKAS, Á., BÁTORI, Z., BERG, C., KRÖEL-DULAY, G., MAGNES, M., SENGL, P., TÖLGYESI, C., TÖRÖK, P., & ZINNEN, J. (2022). Species-based indicators to assess habitat degradation: Comparing the conceptual, methodological, and ecological relationships between hemeroby and naturalness values. *Ecological Indicators*, 136. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108707>.

EUROSTAT (2023). Glossary: Hemeroby index. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Hemeroby_index

FALINSKI J. B. (1966). Antropogeniczna roslinnosc Puszczy Bialowieskiej jako wynik synantropizacji naturalnego kompleksu lesnego. *Dissertationes Universitatis Varsoviensis*, 13, 1–256.

FAO. (2022). *The State of the World's Forests 2022*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9360en>

FAVIS-MORTLOCK, D., BOARDMAN, J., FOSTER, I., & SHEPHEARD, M. (2022). Comparison of observed and DEM-driven field-to-river routing of flow from eroding fields in an arable lowland catchment. *Catena*, 208(September). <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105737>

FROLOVA, M. & BERTRAND, G. (2006). Geografía y Paisaje. En: Lindón, A. & Hiernaux, D. *Tratado de Geografía Humana*. (2006). Anthropos.

GARCÍA ROMERO, A. & MUÑOZ JIMÉNEZ, J. (2002) *El paisaje en el ámbito de la geografía*. Ed. Instituto de Geografía, UNAM. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/110/106/327>

GONZÁLEZ OTERO, L.M. & GARCÍA RODRÍGUEZ, M.I. (1994) Fundamentos teóricos y metodológicos de la Geografía del Medio Ambiente. En: García Rodríguez, M.I. *Geografía del Medio Ambiente*. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México.

GRABHERR, G., KOCH, G., KIRCHMEIR, H. & REITER, K. (1998). *Hemerobie österreichischer Waldökosysteme*. Universitätsverlag Wagner.

HERNÁNDEZ, R., RUIZ, A., & BERLANGA, C. A. (2008). Assessment of runoff response to landscape changes in the San Pedro subbasin (Nayarit, Mexico) using remote sensing data and GIS. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 43(12), 1471–1482. <https://doi.org/10.1080/10934520802253465>

HYLANDER, K., GREISER, C., CHRISTIANSEN, D. M., & KOELEMIEJER, I. A. (2022). Climate adaptation of biodiversity conservation in managed forest landscapes. *Conservation Biology*, 36(3). <https://doi.org/10.1111/cobi.13847>.

IMESON, A. (2012). *Desertification, Land Degradation and Sustainability*. Wiley Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781119977759>

JALAS, J. (1953) Hemerokorit ja hemerobit. *Luonnon Tutkija* 57, 12–16.

JASINAVICIUTE, A. & VETEIKIS, D. (2022) Assessing landscape instability through land-cover change based on the hemeroby index (Lithuanian example). *Land*, 11(7). Artículo 1056. <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/7/1056>

JOHNSON, D. L., & LEWI, L. A. (2006). *Land Degradation: Creation and Destruction*. Rowman & Littlefield Publishers. https://archive.org/details/landdegradationc0000john_y4j7/page/n7/mode/2up

KERN, K., LIEB, G., SEIER, G., & KELLERER-PIRKLBAUER-EULENSTEIN, A. (2012). Modelling geomorphological hazards to assess the vulnerability of alpine infrastructure: The example of the Großglockner-Pasterze area, Austria. *Austrian Journal of Earth Sciences*, 105(2), 113–127. <https://graz.elsevierpure.com/en/publications/modelling-geomorphological-hazards-to-assess-the-vulnerability-of>

KIEDRZYNSKI, M., KIEDRZYNSKA, E., WITOSLAWSKI, P., URBANIAK, M. & KUROWSKI., J. (2014). Historical land use, actual vegetation, and the hemeroby levels in ecological evaluation of an urban river valley in perspective of its rehabilitation plan. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(1), 109-117. <http://www.pjoes.com/pdf-89173-23032?filename=23032.pdf>

LAGOMASINO, D., FATOYINBO, T., CASTAÑEDA-MOYA, E., COOK, B. D., MONTESANO, P. M., NEIGH, C. S. R., CORP, L. A., OTT, L. E., CHAVEZ, S., & MORTON, D. C. (2021). Storm surge and ponding explain mangrove dieback in southwest Florida following Hurricane Irma. *Nature Communications*, 12(1). Artículo 4003. <https://doi.org/10.1038/S41467-021-24253-Y>

LESER, H. (1978). Quantifizierungsprobleme der Landschaft und der landschaftlichen Ökosysteme. *Landschaft + Stad*, (10), 107-114.

LÓPEZ ESPINOSA, E. D., GÓMEZ RAMOS, O., ZARZA ALVARADO, M. A., ZAVALA HIDALGO, J., & OSORIO TAI, M. E. (2022). El cambio en el nivel medio del mar en las costas mexicanas. <https://cambioclimatico.unam.mx/wp-content/uploads/2023/10/cambio-climatico-en-mexico-nivel-medio-del-mar-en-las-costas-mexicanas.pdf>

MACHADO, A. (2004) An index of naturalness. *Journal for Nature Conservation*, 12(2), 95-110. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1617138104000299>

MARINO, B. A., ALVARADO, M. A., CABRAL, I., & GUZMÁN, M. A. (2017). Hemeroby index for the assessment of the conservation of pine- oak forests in a micro- watershed. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 8(44). <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85153660873&partnerID=40&md5=91ca839159baf8c7463723bea2caf3e9>.

MARTÍNEZ MARTÍNEZ, R. (2016). Cartografía de detalle y determinación de los cambios de la línea de costa". En Silva Casarín, R., Lithgow, A.D. y Mendoza Baldwin, E. (Coord.) (2016). Valoración del medio físico y de los posibles impactos del PH Las Cruces en la cuenca del río San Pedro Mezquital y Marismas Nacionales. Reporte Final. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

MARTÍNEZ, W. A. (2010). INRA-Índice integrado relativo de antropización: propuesta técnica-conceptual y aplicación. *Revista Intropica*, 5, 37-46.

MARTINS BRITO, R., SALINAS CHÁVEZ, E., & MIRANDOLA GARCÍA, P. H. (2022). La Geoecología de los paisajes como fundamento para la selección, planificación y gestión de Áreas Protegidas: Aspectos teórico-metodológicos. *Revista de Geografía Norte Grande*, 229(83), 305–329. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022022000300305>.

Mateo, J. M. (1994). Planeamiento ambiental como campo de ação da geografia. En *Actas del V Congreso Brasileiro de Geografía* (Curitiba, Brasil).

MATEO, J. M., & DA SILVA, E. V. (2007). La geoecología del paisaje, como fundamento para el análisis ambiental. *REDE - Revista Eletrônica do Prodepa*, 1(1), 77–98. <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/5>.

MATEO, J.M. & ORTIZ, M.A.(2001). La degradación de los paisajes como concepción teórico-metodológica. *Serie Varia*, (1), <https://biblat.unam.mx/es/revista/serie-varia-instituto-de-geografia-unam/articulo/la-degradacion-de-los-paisajes-como-concepcion-teorico-metodologica>.

MATEO, J.M. (2002). *Geografía de los paisajes. Primera parte. Paisajes Naturales*. Ed. Ministerio de Educación Superior de Cuba.

MAZA-VILLALOBOS, S., SOSA, E. A., RODRÍGUEZ, A. D. A., INFANTE, F., & CASTILLO-SANTIAGO, M. A. (2023). Land use soil and vegetation dynamic in landscapes highly modified by agricultural activities in southern Mexico. *Botanical Sciences*, 101(2), 374-386 <https://doi.org/10.17129/botsci.3148.01129>

MCCARTHY, T. S., TOOTH, S., KOTZE, D. C., COLLINS, N. B., WANDRAG, G., & PIKE, T. (2010). The role of geomorphology in evaluating remediation options for floodplain wetlands: The case of Ramsar-listed Seekoeivlei, eastern South Africa. *Wetlands Ecology and Management*, 18(2), 119–134. <https://doi.org/10.1007/s11273-009-9153-7>

MONASTERIO, M., SARMIENTO, G. & SOLBRIG, D.T. (1985) Comparative studies in Tropical Mountain Ecosystems. *Biology International.*, Special Issue, 12. https://www.researchgate.net/publication/262012642_Ecosystem_Studies_In_Comparative_studies_on_tropical_mountain_ecosystems_Planning_for_research

MONTAÑO, Y., & CARBAJAL, N. (2008). Numerical experiments on the long-term morphodynamics of the Colorado River Delta. *Ocean Dynamics*, 58(1), 19–29. <https://doi.org/10.1007/s10236-007-0129-y>

MORESCO, M., & SILVA, G. (2016). Estudo da alteração antropica (Hemerobia) da bacia hidrográfica do rio Mourão – Pr Study of Anthropogenic Change (Hemerobia) the Basin of River Mourao -Pr. *Ra'e Ga*, 36, 280–301. www.ser.ufpr.br/raega. 01149

NEPSTAD, D., SCHWARTZMAN, S., BAMBERGER, B., SANTILLI, M., RAY, D., SCHLESINGER, P., LEFEBVRE, P., ALENCAR, A., PRINZ, E., FISKE, G., & ROLLA, A. (2006). Inhibition of Amazon deforestation and fire by parks and indigenous lands. *Conservation Biology*, 20(1), 65–73. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00351.x>.

NIÑO, L., JARAMILLO, A., VILLAMIZAR, V., & RANGEL, O. (2023). Geomorphology, Land-Use, and Hemeroby of Foothills in Colombian Orinoquia: Classification and Correlation at a Regional Scale. *Papers in Applied Geography*, 9(3), 295–314. <https://doi.org/10.1080/23754931.2023.2189921.01147>

NIRMALA, R. (2023). Landslide and Its Impact on Agriculture in Kottiyoor Panchayath, Kannur District, Kerala. En: Das, J. & Halder, S (Eds.), *Advancement of GI-Science and Sustainable Agriculture, a Multi-dimensional Approach* (pp. 257–263). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36825-7_17

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (2015). Objetivo 15: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/biodiversity/>

Orndorff, S. C. (2020). *Indigenous social movement in Nayarit: Resistance to the Las Cruces hydroelectric dam* (Tesis de maestría). https://www.researchgate.net/publication/349043246_INDIGENOUS_SOCIAL_MOVEMENT_IN_NAYARIT_RESISTANCE_TO_THE_LAS_CRUCES_HYDROELECTRIC_DAM.

ORTEGA, F. (1996). Conceptos de paisaje y opciones de intervención. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, 26, 153-174.

ORTIZ PÉREZ, M. A. (1978). *Geomorfología del Curso Bajo del Río Grande de Santiago, Nayarit* (Tesis de maestría). <http://132.248.9.195/ptb2010/junio/O659510/Index.html>

ORTÍZ PÉREZ, M. A., BLANCO CORREA, M., & FIGUEROA MAHENG, J. M. (2010). La regionalización de los paisajes geomorfológicos de la región de Marismas Nacionales Sector Norte: Sur de Sinaloa. In F. J. Flores Verdugo, M. Blanco Correa, M. A. Ortiz Pérez, D. Serrano, A. C. Ruiz Fernández, J. J. Carrillo Rivera, & A. Peralta Higuera (Eds.), *Diagnóstico del sistema de marismas asociado al Sistema Ambiental Regional Terrestre del proyecto CIP Costa Pacífico* (pp. 14–48). Instituto de Geografía. https://sumar.org.mx/wp-content/uploads/2022/11/20100615-Diagnostico_Marismas_IGG_UNAM_compressed.pdf

ORTÍZ PEREZ, M.A. (2014). Fisiografía de la cuenca hidrográfica del Río San Pedro. En: Blanco y Correa Magallanes, J.M. *Análisis del proceso de sedimentación en humedales (Marismas Nacionales) - Ambientes y procesos sedimentarios del Río San Pedro Mezquitil en Marismas Nacionales (MaNa). Origen, evolución, situación actual y perspectivas*. Acuerdo de Consultoría No. ON94. Reporte técnico final.

ORTIZ PÉREZ, M.A., BARRIOS RODRÍGUEZ, M.L. & FIGUEROA, M. (2015). Pérdida del grado de naturalidad en la costa del Caribe mexicano por impacto de la actividad turística: perspectiva frente al cambio climático. En: Yáñez-Arancibia (Ed.), *Cambio climático, adaptación y mitigación hacia agendas siglo XXI*. Ed. AGT Editor - Instituto de Ecología de México.

ORTIZ PÉREZ, M.A., FIGUEROA MAHENG, J.M., BARRIOS RODRÍGUEZ, M.L. & CUEVAS CORTÉS, E. (2016) Pérdida de la naturalidad de la Costa Norte de Yucatán por la transformación de los espacios edificados de uso residencial, portuario y turístico. Inédito.

PEDRAZA (1996). *Geomorfología: principios, métodos y aplicaciones*. Ed. Rueda.

PEÑA-CORTÉS, F.; GUTIÉRREZ, P.; REBOLLEDO, G.; ESCALONA, M.; HAUENSTEIN, E.; BERTRÁN, C.; SCHLATTER, R.; TAPIA, J. (2006). Determinación del nivel de antropización de humedales como criterio para la planificación ecológica de la cuenca del lago Budi, IX Región de La Araucanía, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, (36), 75-91. <https://revistanortegrande.uc.cl/index.php/RNGG/article/view/41319/33241>

PÉREZ-CHACÓN, E. (1999). "Unidades de paisaje: aproximación científica y aplicaciones". Actas de Ponencias del III Congreso de Ciencia del Paisaje. 1999. <http://hdl.handle.net/10553/59109>

PÉREZ-VEGA, A., REGIL GARCÍA, H. H., & MAS CAUSSEL, J. F. (2020). Degradación ambiental por procesos de cambios de uso y cubierta del suelo desde una perspectiva espacial en el estado de Guanajuato, México. *Investigaciones Geográficas*, (103). <https://doi.org/10.14350/rig.60150>

PERLES, M. J., & CANTARERO, F. (2010). Problemas y retos en el análisis de los riesgos múltiples del territorio. Propuestas metodológicas para la elaboración de cartografías multi-peligros. *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles*, (52). <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/1171>

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIOAMBIENTE. (2021). State of Finance for Nature 2021. Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente. <https://www.unep.org/resources/state-finance-nature-2021>

PULIDO-HERRERA, L. A., SEPÚLVEDA, C., JIMÉNEZ, J. A., BETANZOS SIMÓN, J. E., PÉREZ-SÁNCHEZ, E., & NIÑO, L. (2024). Landscape connectivity in extensive livestock farming: an adaptive approach to the land sharing and land sparing dilemma. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8 (May). <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1345517>.

PUNNOLI, D., JAYARAJAN, K., & SELVARAJ, S. (2024). Changing Paradigms in Applied Geomorphology for Hydroclimatic Research Studies: A Case Study of Bharathapuzha River Basin. En: Das, J & Halder, S (Eds.), *New Advances in Geomorphological Research* (pp. 17-30). https://doi.org/10.1007/978-3-031-64163-3_2

QIU, M., LIU, Y., CHEN, P., HE, N., WANG, S., HUANG, X., & FU, B. (2024). Spatio-temporal changes and hydrological forces of wetland landscape pattern in the Yellow River Delta during 1986-2022. *Landscape Ecology*, 39(3), 1-19. <https://doi.org/10.1007/s10980-024-01850-y>

QUINTERO, A., PLATA, W., OLIMÓN, V., MONJARDÍN, S., & NEMIGA, X. (2021). Dynamics of changes in land use and estimation of co2 in mangroves in the Marismas Nacionales area, Mexico. *Ciencias Marinas*, 47(2), 105-125. <https://doi.org/10.7773/cm.v47i2.3162>.

REQUENA, G. N., MORALES, J. F., CÁMARA, R., & ZAMORA, C. (2020). Niveles de conservación y degradación de hábitat en los ecosistemas de una cuenca de alta biodiversidad en Tamaulipas (México). *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 84, 1-36. <https://doi.org/10.21138/bage.2768>.

ROMO, M.L. & ORTIZ, M.A. (2001). Riesgo de Inundación en la Llanura Fluvial del Curso Bajo del Río San Pedro, Nayarit. *Investigaciones Geográficas*. (45),7-23. <https://doi.org/10.14350/rig.59142>

RUIZ LUNA, A., & BERLANGA ROBLES, C. A. (1999). Modifications in Coverage Patterns and Land Use around the Huizache-Caimanero Lagoon System, Sinaloa, Mexico: A Multi-temporal Analysis using LANDSAT Images. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 49(1), 37–44. <https://doi.org/10.1006/ECSS.1999.0489>

SANTOS, R., SANTOS, P., & RODRÍGUEZ, C. (2023). Determination of Hemeroby in Peru and its Relationship with Natural Factors and Human Intervention in the Biophysical Environment. En: Larrondo, M.M. & Texier, J. (Eds.), *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*, 2023-July, 1–10. <https://doi.org/10.18687/laccei2023.1.1.1373>.

SCHERRER, D., BALTENSWEILER, A., BUERGI, M., FISCHER, C., STADELMANN, G., & WOHLGEMUTH, T. (2023). Low naturalness of Swiss broadleaf forests increases their susceptibility to disturbances. *Forest Ecology And Management*, 532, Artículo 120827 . <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120827>.

SEABRA, L. S, SANTOS, R. V., & BARREIROS, E. (2024). Hemeroby Mapping of the Belém Landscape in Eastern Amazon and Impact Study of Urbanization on the Local Climate. *Urban Science*, 8(1). <https://doi.org/10.3390/urbansci8010015>.

SECRETARÍA DE LA CONVENCIÓN RAMSAR. (2001). Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar: Marismas Nacionales. <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/MX732RIS.pdf>

SENADO DE LA REPÚBLICA. (2018). Huracan Willa y sus efectos en Nayarit. 19. https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/64/1/2018-11-27-1/assets/documentos/Anexo_Sen.Navarro_huracan_Willa.pdf

SHISHENKO,P (1998). *Geografía Física Aplicada* (en ruso). Editorial Escuela Superior.

SOCHAVA, V.B. (1972) Sobre la teoría de la clasificación de los geosistemas con vida terrestre. *Papeles del Instituto de Geografía de Siberia y del Lejano Oriente*, (34) (en ruso).

STEINHARDT, U., HERZOG, F., LAUSCH, A., MÜLLER, E., & LEHMANN, S. (1999). Hemeroby index for landscape monitoring and evaluation. En: Pykh, Y.; Hyatt, E. & Lenz, R. (Eds.), *Environmental Indices - System Analysis Approach*, (pp. 237–254). Ed. Eolss. https://www.researchgate.net/publication/237201744_Hemeroby_index_for_landscape_monitoring_and_evaluation

STOLL, A. (2007). Hemerobia: una medida para evaluar el estado de conservación de comunidades vegetales nativas. *Chloris Chilensis. Revista chilena de flora y vegetación*. 10(2). <https://www.chlorischile.cl/hemerobia/hemerobia.htm>

STOLL, A. (2008). Hemerobia, un ejemplo de cálculo: el estado de conservación del bosque de pitao y coigue (Pitavio-Nothofagetum) en Quebrada Honda, Región del Maule (VII), Chile. *Chlo-*

ris Chilensis. Revista chilena de flora y vegetación. 11(1) <http://www.chlorischile.cl/hemerobia%202%20stoll/hemerobia2stoll.htm>.

SUKOPP, H. & WERNER, P. (1983): Urban environments and vegetation. En: Holzner W., Werger M. J. A. & Ikusimal. (Eds.), *Man's impact on vegetation*, (pp. 247–260), Dr. W. Junk Publ..

SUKOPP, H. (1969). Der Einfluss des Menschen auf die Vegetation. *Vegetatio*, 17(1), 360–371. <https://www.jstor.org/stable/20035445>

TOOTH, S., ELLERY, F., GRENFELL, M., THOMAS, A., KOTZE, D., & RALPH, T. (2014). Geomorfología de los Humedales. Climate Change Consortium of Wales. <http://wetlandsindrylands.net/wp-content/uploads/2015/10/10-razones-humedales-FINAL.pdf>

TIAN, Y., LIU, B. X., HU, Y. D., XU, Q., QU, M., & XU, D. W. (2020). *Spatio-Temporal Land-Use Changes and the Response in Landscape Pattern to Hemeroby in a Resource-Based City*. ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(1). <https://doi.org/10.3390/ijgi9010020>.

TORRES-GÓMEZ, M., DELGADO, L. E., MARÍN, V. H., & BUSTAMANTE, R. O. (2009). Estructura del paisaje a lo largo de gradientes urbano-rurales en la cuenca del río Aisén (región de Aisén, Chile). *Revista Chilena de Historia Natural*, 82(1), 73–82. <https://doi.org/10.4067/s0716-078x2009000100005>

TRICART, J. y KILIAN, J. (1979). *L'Eco-géographie*. Collection Hérodote. François Maspéro.

TURNER, B L., MATSON, P., MCCARTHY, J., CORELL, R., CHRISTENSEN, L., ECKLEY N., ... TYLER, N. (2003). Illustrating the Coupled Human-Environment System for Vulnerability Analysis: Three Case Studies. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100 (14), 8080-8085. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231334100>

UNDRR – United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2009). *Terminología sobre la reducción del riesgo de desastres. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR)*. https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf

VALDEZ HERNÁNDEZ, J.I.; RUIZ LUNA, A.; GUZMÁN ARROYO, M.; GONZÁLEZ FARIAS, F.; ACOSTA VELÁZQUEZ, J.; VÁZQUEZ LULE, A.D. (2009). Caracterización del sitio de manglar Teacapán-Agua Brava_ Marismas Nacionales, Sinaloa-Nayarit. Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. Report, PN10. Ciudad de México. CONABIO. http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/manglares/doctos/caracterizacion/PN10_Teacapan_Agua_Brava_Marismas_Nacionales_caracterizacion.pdf

VERGARA, G., & IBARRA, J. T. (2019). Paisajes en transición: Gradientes urbano-rurales y antropización del bosque templado andino del sur de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, (73), 93–111. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022019000200093.01142>

VILCHES MALAGÓN, C., ITURBE FUENTES, L. R., PAQUINI VEGA, R., SANDOVAL, M., & FIGUEROA MAHENG, J. M. (2024). La Colección MAOP de fotografías aéreas de la Biblioteca del Instituto de Geografía UNAM: Aplicaciones y productos derivados (2da. Parte). *Revista de la Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información*, 26(2), 141-151. <https://doi.org/10.22201/dgbs-di.0187750xp.2023.2.1505>

VIZCAYA-MARTÍNEZ, D. A., FLORES-DE-SANTIAGO, F., VALDERRAMA-LANDEROS, L., SERRANO, D., RODRÍGUEZ-SOBREYRA, R., ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, L. F., & FLORES-VERDUGO, F. (2022). Monitoring detailed mangrove hurricane damage and early recovery using multisource remote sensing data. *Journal of Environmental Management*, 320. Artículo 115830. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115830>

WALZ, U., & STEIN, C. (2014). Indicators of hemeroby for the monitoring of landscapes in Germany. *Journal for Nature Conservation*, 22(3), 279-289. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2014.01.007>. 01145.

WANG, W. L., LI, X. R., LV, H. J., & TIAN, Y. (2023). What Are the Correlations between Human Disturbance, the Spatial Pattern of the Urban Landscape, and Eco-Environmental Quality?. *Sustainability*, 15(2). Artículo 1171. <https://doi.org/10.3390/su15021171>.

WINTER, S. (2012). Forest naturalness assessment as a component of biodiversity monitoring and conservation management. *Forestry*, 85(2), 291-304. <https://doi.org/10.1093/forestry/cps004>.

YAÑEZ, A., & DAY, J. W. (2010). La zona costera frente al cambio climático: vulnerabilidad de un sistema biocomplejo e implicaciones en el manejo costero. En Rivera Arriaga, E.; Azuz Adeath, I.; Alpuche Gual, L. & Villalobos Zapata G. J. (Eds.), *Cambio climático en México: un enfoque costero y marino* (pp. 3-22). Universidad Autónoma de Campeche, CetyS-Universidad y Gobierno del Estado de Campeche.

YI, L., YU, Z. Y., QIAN, J., KOBULIEV, M., CHEN, C. L., & XING, X. W. (2021). Evaluation of the heterogeneity in the intensity of human interference on urbanized coastal ecosystems: Shenzhen (China) as a case study. *Ecological Indicators*, 122. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107243>

ZHOU, Y.K., NING, LX & BAI, XL (2018). Spatial and temporal changes of human disturbances and their effects on landscape patterns in the Jiangsu coastal zone, China. *Ecological Indicators*, 93, 111-122, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.076>

ZUBELZU, S. & ALLENDE, F. (2014). El concepto de paisaje y sus elementos constituyentes: requisitos para la adecuada gestión del recurso y adaptación de los instrumentos legales en España. *Cuadernos de Geografía Revista Colombiana de Geografía*, 24 (1), 29-42. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v24n1.41369>

ZVONKOVA, T.V. (1985). *Fundamentos geográficos de los peritajes ecológicos* (en ruso). Ed. Universidad Estatal de Moscú.

