

Evaluación Geoespacial para la Designación como Geoparque de la Reserva Natural Punta Guaniquilla en Cabo Rojo, Puerto Rico

Orializ Yisset Martínez-Román
Maestría en Ciencia y Tecnología Geoespacial
Mentor: Raúl Matos Flores, Ph.D.
Universidad Politécnica de Puerto Rico
Graduate Project EXPO, Mayo 2025

Abstracto — *La Reserva Natural Punta Guaniquilla, ubicada en el suroeste de Puerto Rico, es un área protegida de alto valor ecológico y paisajístico. Esta investigación explora su potencial para ser designada como Geoparque de la UNESCO, una figura que promueve el desarrollo sustentable a través de la integración de la geología, la cultura, el turismo y la educación. Se realizó un análisis geoespacial y un modelo de ponderación multicriterio para identificar zonas idóneas para el desarrollo de geositios, revelando que un 37% del área de la Reserva presenta alto potencial. Además, se propone el uso estratégico de zonas con menor potencial geológico para actividades de conservación, educación científica comunitaria y turismo de bajo impacto. Esta investigación se alinea con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, particularmente los ODS 4, 8, 11, 13, 15 y 17, al integrar la protección ambiental con la participación comunitaria y el desarrollo territorial sostenible.*

Palabras Clave — *Geoparque, Geoherencia, Geositios, Punta Guaniquilla.*

INTRODUCCIÓN

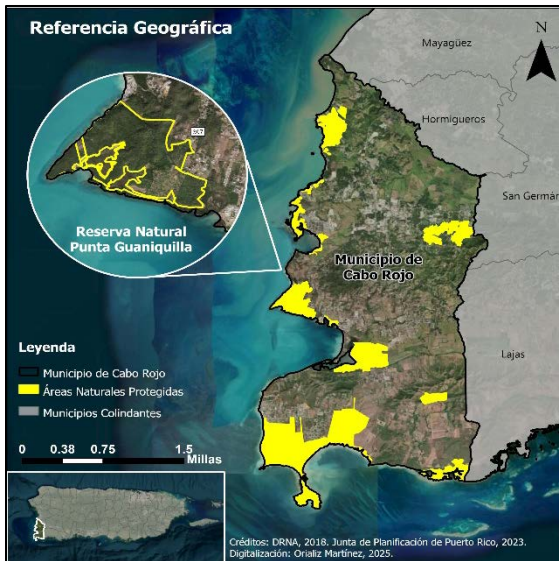
Los Geoparques son un programa de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (en inglés, UNESCO) y actualmente cuenta con 213 geoparques en 48 países alrededor del mundo [1]. Un geoparque es un área geográfica con cualidades geológicas excepcionales donde se emplea un concepto holístico que integra los recursos naturales geológicos con la cultura, el turismo y la educación para garantizar la conservación ambiental y el desarrollo económico sustentable [2]. Entre los beneficios de un geoparque están: la preservación del patrimonio geológico, histórico y cultural, la

conservación ambiental, desarrollo socioeconómico sustentable, prestigio y visibilidad internacional.

El propósito de este proyecto es demostrar el potencial que tiene la Reserva Natural Punta Guaniquilla para el desarrollo de un geoparque utilizando datos geoespaciales evaluados en SIG. Entre los objetivos están el generar Perfiles Detallados para evaluar cada criterio de evaluación del Programa de Geoparques de la UNESCO y generar un Mapa de Idoneidad para identificar las zonas viables para el desarrollo de geo-sitios dentro de la Reserva (lugares de alto interés dentro del geoparque). Esta investigación busca presentar una alternativa que sea efectiva y sustentable para conservar y desarrollar la Reserva Natural Punta Guaniquilla, incentivando el desarrollo socioeconómico en la región, utilizando una metodología que pueda ser replicable en otros recursos naturales de la Isla.

La Reserva Natural Punta Guaniquilla está localizada en la costa oeste del Municipio de Cabo Rojo en Puerto Rico; comprende un total de 1.92 Km² y fue establecida como área natural protegida en el año 1977 por su valor geológico, ecológico, histórico y educativo, según establece el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico (DRNA) [3]. Colinda por la parte norte y este con el Barrio Pedernales, por el norte con la Playa Buyé y por el sur con la Bahía de Boquerón [4]. La reserva es administrada por la organización Para la Naturaleza, cuya estrategia de desarrollo está enfocada en involucrar a la ciudadanía en los esfuerzos de conservación y desarrollo sustentable de la zona [5]. Esta reserva natural cuenta con características geológicas únicas, flora y fauna nativa, potencial oportunidades para la academia y el desarrollo de la educación científica y yacimientos histórico-arqueológicos de alto valor; características

que le aportan paisajes únicos en Puerto Rico, condiciones fundamentales al momento de designar una reserva natural como geoparque [6].



Mapa 1
Ubicación Geográfica de Punta Guaniquilla

El uso del análisis geoespacial para la designación de geoparques ya se ha utilizado en el pasado. Por ejemplo, en Colombia se llevó a cabo un estudio para diseñar estrategias para desarrollar una zona rural volcánica como un geoparque de la UNESCO validando los criterios de evaluación con tecnología geoespacial [7]. El enfoque del estudio era consolidar una región como un destino turístico de relevancia, aprovechando su valor geológico para lograr reconocimiento a nivel nacional, tomando en cuenta los siguientes factores:

- Herencia Cultural y Nacional: Se evaluó la red de conectividad del territorio hacia lugares de interés por su valor cultural, promoviendo la conservación a lo largo de la ruta.
- Geo-herencia: Estudiaron la geología del lugar desde una perspectiva geomorfológica, litológica, paleontológica, geofísica, estructural y volcánica de la región.
- Biodiversidad: Estudiaron las zonas protegidas que incluyeron flora y fauna endémica y en amenaza.
- Historia, Cultura y Religión: Evaluaron si existen infraestructuras históricas (ejemplos:

museos, iglesias, infraestructura general relevante).

- Turismo y desarrollo actual de la región: Evaluaron la actividad económica y los lugares de interés turístico en la región.
- Educación: Evaluaron las actividades existentes que estaban dirigidas al fin geo-educativo en la región.

El estudio logró demostrar que el geoturismo mediante un geoparque de la UNESCO puede conformar un motor de impulso socioeconómico en la región.

Otro estudio en el archipiélago Colombiano de San Andrés, Providencia y Santa Catalina buscaba alternativas para preservar los recursos geológicos costeros y fomentar el desarrollo turístico mediante la mejora del conocimiento de los elementos geológicos de la región [8]. Para seleccionar los lugares de interés ideales, el estudio estuvo basado en una metodología de puntos, donde aquellos lugares con 3.0 puntos o más formarían parte de la propuesta [8]. Los criterios para la evaluación de los distintos geositios incluyeron la ocurrencia inusual, la geomorfología distintiva, el valor histórico, el valor cultural, el valor científico y el valor educativo. Finalmente, 23 lugares a través de todo el archipiélago cumplieron con las características de peso para la conservación [8].

METODOLOGÍA

En primer lugar, se realizó una revisión del documento de evaluación para la designación de los Geoparques, titulado “Lista de Verificación de Aspirantes a Geoparques Globales de la UNESCO” (Lista de Verificación), que está compuesto por 101 preguntas de cualificación dentro de los cuatro ejes de enfoque de los geoparques y un quinto factor de gobernanza y administración [9].

Culminada la revisión, se procedió con la identificación de variables para el procesamiento de capas de información para la generación de los perfiles descriptivos de las categorías de

geoherencia, cultura y turismo, educación y aspectos regulatorios y administrativos.

Las fuentes para la descarga de geodatos en formato vectorial fueron el Servicio Geológico de los Estados Unidos (en inglés, USGS), Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos (en inglés, USFWS), Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) y la Junta de Planificación del Gobierno de Puerto Rico.

El modelo de elevación digital (en inglés, DEM) en formato ráster se obtuvo de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (en inglés, NASA). Estos datos fueron analizados con el programa ArcGIS Pro, Versión 3.0.1 del 2022.

A partir de las capas de información en formato vectorial las capas se convirtieron a formato ráster configurados con un tamaño de celda de 10 metros; lo que permitió que todas las capas estuviesen en la misma escala.

Los parámetros para la conversión de capas en formato vectorial a ráster fueron:

- **Geoherencia:** Se consideraron las características geomorfológicas y la edad de cada unidad geológica (formación), se ponderaron en: 1 = Alta Relevancia, 2 = Relevancia Moderada y 3 = Relevancia Mínima. Además, se ponderaron los grados de inclinación de las pendientes, donde: 1= Pendiente Leve, 2 = Pendiente Moderada y 3=Pendiente Aguda. Luego se combinaron ambos rústers y se reclasificaron utilizando la metodología de tres puntos donde 1=Alta Geoherencia, 2=Geoherencia Media y 3=Geoherencia Mínima.
- **Biodiversidad:** Se consideraron las áreas designadas como hábitats críticos de especies protegidas, en el cual el valor de reclasificación en la conversión ráster era 1. El resto del área de la reserva que no está designado como hábitat crítico se reclasificó como 3. Para lograr extender el ráster hasta cubrir toda el área de la Reserva se utilizó la herramienta de “Resample”, donde se le asignó un valor de 3 (fuera de la zona) a las celdas de valor nulo.
- **Accesibilidad:** Considerando los caminos y veredas dentro de la Reserva se utilizó la

herramienta de Distancia Euclidiana (Euclidean Distance) la cual calcula las proximidades los caminos en la Reserva, donde 1=Camino en 10 metros de distancia, 2=Cercanía de 200 metros o menos entre caminos y 3=Camino Distantes entre sí o mayores a 201 metros de distancia.

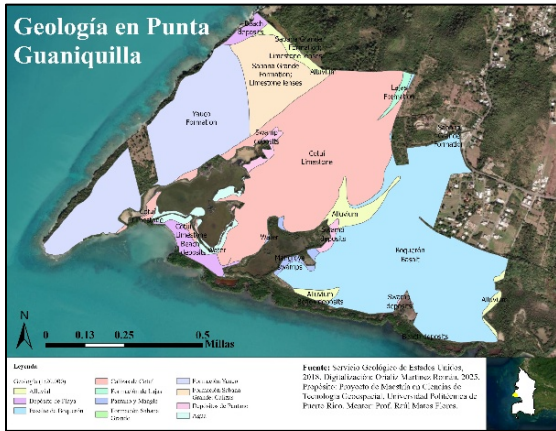
- **Turístico/Cultural:** Se consideraron los puntos de interés turístico dentro de la Reserva, se estableció un “buffer” para identificar una distancia radial de 20 metros en cada uno de los puntos. Los valores de reclasificación fueron: 1=Celda del Activo, 2=Cercanía a 20 metros y 3=Zona lejana al activo turístico/cultural.

Para la creación del mapa de idoneidad de geositios dentro de la Reserva se utilizó una ponderación de las cuatro (4) capas ráster obtenidas en el punto anterior, multiplicadas por el porcentaje de relevancia en la evaluación mediante la calculadora ráster (Geoherencia cuenta con un 40% de relevancia, Biodiversidad un 30%, Accesibilidad un 20% y finalmente Turístico/Cultural el 10%). El resultado obtenido se reclasificó utilizando la misma metodología de puntos, donde 1 representó las zonas altamente idóneas, 2 zonas de idoneidad media y 3 zonas de baja idoneidad para los geositios. Finalmente se convirtió el resultado ráster a un formato vectorial y se utilizó la herramienta de suavizar bordes (Smooth) para un resultado más limpio y fácil de interpretar.

ZONA DE ESTUDIO

Un análisis de estos aspectos presenta las siguientes condiciones en la zona de estudio. En cuanto al aspecto de Geoherencia, en la Reserva Natural Punta Guaniquilla hay un total de once (11) formaciones geológicas. Las rocas más antiguas están ubicadas en el Norte de la Reserva y se formaron hace aproximadamente 90 millones de años, con una mezcla litológica caliza y arcilla. Al Centro y Oeste de la Reserva la formación Calizas de Cotuí data de aproximadamente 80 millones de años, en la cual abundan fósiles de gastrópodos y caracoles de la época, además cuenta con un sistema de cuevas conocido como Cuevas del Pirata [10]. De

otra parte, en el sur de la Reserva, la formación Basalto de Boquerón tiene un origen totalmente volcánico, donde abundan cristales de enfriamiento lento como la plagioclasa, el olivino, la serpentinita, la apatita, magnetita y hematita. Punta Guaniquilla cuenta con otras formaciones mucho más jóvenes del periodo Cuaternario de menos de dos (2) millones de años atrás, aledaños a la costa y la Laguna Guaniquilla, que consiste principalmente de depósitos de playa, cuerpos de agua superficial, humedales y depósitos aluviales.



Mapa 2
Geología en Punta Guaniquilla

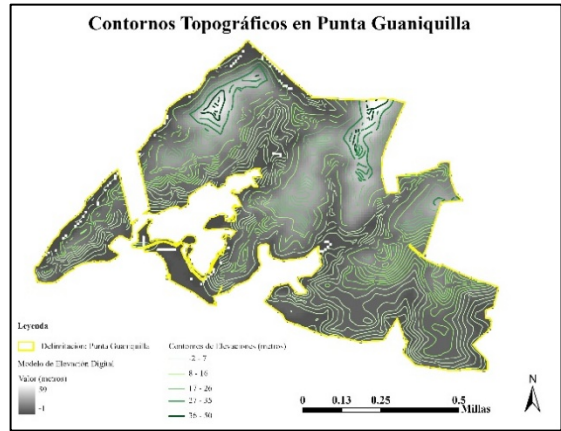
Procesos geomorfológicos de meteorización y disolución de la calcita que abunda en la formación Calizas de Cotuí causaron un fenómeno único en Puerto Rico, conocido como karren (columnas de punta aguda agrupadas).



Imagen 1
Efecto de Meteorización en las Calizas de Cotuí [11]

Al observar la topografía se aprecia que las elevaciones en la Reserva Natural Punta Guaniquilla

van desde el nivel del mar (equivalente a 0 metros de elevación), hasta un máximo de 50 metros de elevación. El conocido Cerro Guaniquilla cuenta con una altura de 46 metros sobre el nivel del mar y se encuentra en la parte Norte de la Reserva. Hacia el Centro y Oeste las elevaciones alcanzan un máximo de 50 metros de elevación, con un acceso limitado debido a la densa vegetación en el área. Desde el Cerro Guaniquilla se pueden observar impresionantes vistas hacia el Sur, que incluyen la Laguna Guaniquilla y la Bahía de Boquerón.

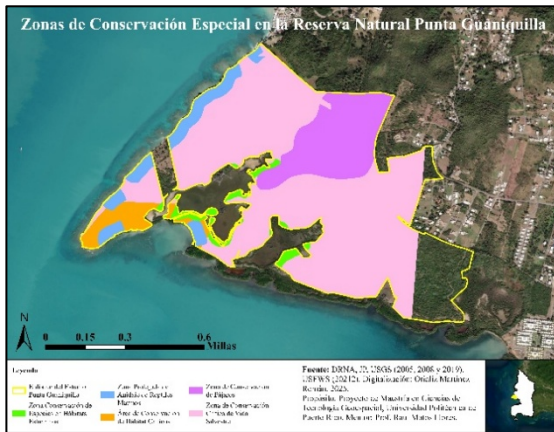


Mapa 3
Topografía en Punta Guaniquilla

En cuanto a la hidrografía, a pesar de que la Laguna Guaniquilla no ubica dentro de los límites administrativos oficiales de la Reserva bajo la delimitación del DRNA, el ente administrativo actual, Para la Naturaleza, sí lo considera parte del patrimonio natural de la Reserva. Esta laguna es una llanura dividida en dos secciones cuyas orillas son terrenos pantanosos con menos de 0.5 metros de profundidad. Las aguas de esta Laguna son clasificadas como estuarinas, ya que, en esta zona, se mezclan el agua dulce que transcurre de las quebradas y ríos, con el agua salada que entra de la Bahía [12].

En torno a la biodiversidad de la zona, según el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico, en esta reserva hay un total de 89 especies de árboles, 46 especies de arbustos y 77 especies de hierbas. Alrededor de 172 de las anteriores son nativas y 7 endémicas. [13] Además, en esta Reserva habitan un total de 81 especies de

aves, de las cuales 24 son migratorias, 37 residentes, 10 nativas, 4 introducidas y 6 endémicas. [14] Punta Guaniquilla está designada en el Gobierno de Puerto Rico como Área Crítica de Vida Silvestre y a nivel nacional como *Critical Coastal Wildlife Area* (Área Costera Crítica de Vida Silvestre); además cuenta con un sello de reconocimiento internacional como Área Importante para la Conservación de las Aves por parte de la organización BirdLife International [15].



Mapa 4
Hábitat Críticos de Vida Silvestre Protegidos

Las especies migratorias estas suelen habitar en las orillas de la laguna, durante los meses de invierno en el hemisferio norte; incluso algunas provienen desde el norte de Canadá.

Sobre los aspectos de Historia y Cultura se puede distinguir el aspecto arqueológico. Según el Consejo para la Protección del Patrimonio Arqueológico y Terrestre de Puerto Rico, en esta Reserva Natural existen ocho (8) yacimientos arqueológicos indígenas que incluyen instrumentos con conchas y artefactos de piedra y datan de 1,200 años; de los cuales existe muy poco registro [16].

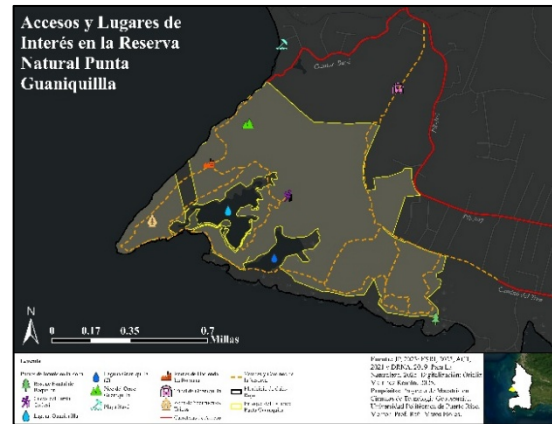
Una revisión del aspecto Histórico/Postcolonial destaca que la Cueva del Pirata Cofresí fue el escondite del conocido Pirata caborrojeño Roberto Cofresí y Ramírez de Arellano (nacido en el siglo XVIII tardío), quien presuntamente escondía las riquezas que adquiría en sus combates marinos, los cuales repartía entre sus allegados y personas pobres de la comunidad para principios del siglo XIX [17].

También se distingue un aspecto relacionado a la Historia Agrícola. Para la segunda mitad del Siglo XIX, se construye la Hacienda La Romana, un importante edificio para la producción azucarera de la época [18]. Actualmente, quedan remanentes de la estructura de ladrillos como paredes, un pozo de agua y la cisterna [19].



Imagen 2
Ruinas de la Hacienda La Romana [20]

La cultura de Cabo Rojo está influenciada por la mezcla de las culturas y costumbres de los taínos, españoles y africanos; visibles en la gastronomía, el arte, la religión, la música y las tradiciones que hoy día aún se conservan en los residentes [21].



Mapa 5
Caminos y Veredas de Acceso y Lugares de Interés en la Reserva Punta Guaniquilla

Otro aspecto importante para considerar para la designación de un geoparque es la Accesibilidad y el Turismo. La principal carretera estatal de acceso para llegar a la Reserva Natural Punta Guaniquilla ya sea por el Norte o por el Este es la carretera estatal

PR-307. Al Norte de la Reserva existe el Camino Buyé que se puede acceder con bicicletas o caminando, siendo este el más accesible para todo tipo de público en la actualidad. Existen veredas en madera alrededor de la Laguna y los Humedales, otras veredas no cuentan con paseo tablado, pero son accesibles.

Según el Instituto de Estadísticas de Puerto Rico, para el año fiscal 2023-2024 la Región Turística Porta del Sol, dentro de la cual se encuentra la Reserva fue una de las menos visitadas por los turistas, con solo 28% del turismo total que recibió la Isla, del cual Cabo Rojo absorbió solo un 1.7% del total de los visitantes [22]. Una de las principales recomendaciones del Instituto de Estadísticas para aumentar este porcentaje es el promocionar el ecoturismo y el turismo cultural en la Región, así como promover estrategias inclusivas ya que reconocen el potencial de las áreas naturales en esta región de la Isla [22].

La UNESCO destaca la importancia de Activos Educativos en la zona que busque la designación de geoparque. Es importante destacar que el Programa de Geoparques busca fomentar la educación científica mediante la colaboración con escuelas y universidades para llevar a cabo investigaciones para seguir desarrollando y conociendo la zona [23]. El Municipio de Cabo Rojo cuenta con diez (10) escuelas, de las cuales ocho (8) son de educación primaria y dos (2) de educación superior [24]. Los pueblos limítrofes de Mayagüez y San Germán cuentan con instituciones universitarias que cumplen con los requisitos de los Geoparques para el área de enfoque de educación. En el caso de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez, esta cuenta con un Departamento de Geología y otros Departamentos en Ciencias como Física, Química y Biología [25]. En el caso de la Universidad Interamericana de San Germán, la institución ofrece educación en temas de Guía Ecoturístico, Turismo, Biología y Química [26].

Es importante conocer cómo se enmarca la zona bajo análisis en el aspecto regulatorio de Puerto

Rico. Primero, el Plan de Uso de Terrenos del año 2015 clasifica el terreno en la Reserva como Suelo Rústico Especialmente Protegido Ecológico, el cual restringe las actividades permitidas a estrategias sustentables de conservación.

Por otro lado, el Plan y Reglamento del Área de Planificación Especial del Carso, 2014 clasifica la zona como Área de Planificación Especial de la Zona Cárstica, en el cual se prohíbe cualquier tipo de desarrollo urbano en esta zona [27].

En cuanto al Reglamento Número 13: Áreas Especiales de Peligro a Inundación del 2021, se estipulan medidas y requerimientos especiales para otorgar permisos para construcción o desarrollo de zonas inundables, sobre todo para evitar la modificación del terreno de áreas especiales y exigir la tenencia de seguros en caso de ser un desarrollo permitido [28]. De acuerdo con la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA), la Reserva Natural Punta Guaniquilla, presenta un 2.0% de probabilidad anual a sufrir inundaciones de tipo AE las cuales indican que en estas zonas delimitadas hay un alto riesgo de inundación y de tipo VE, los cuales son zonas costeras con riesgo de inundación ya sea por marejadas, olas, o eventos atmosféricos [29].

RESULTADOS

Con los cuatro criterios reclasificados se puede generar el análisis de idoneidad para geositos. Según los estándares de peso para los geoparques se le asignaron pesos de relevancia a cada uno de los cuatro criterios evaluados para la ponderación, donde la Geherencia otorga un 40%, la Biodiversidad un 30%, la Accesibilidad un 20% y la Cultura/Turismo un 10%. Se priorizó la accesibilidad sobre la cultura y el turismo considerando que para que el Geoparque sea atractivo al turista, debe contar con una accesibilidad equitativa. El mapa de idoneidad está enfocado en evaluar el potencial de desarrollo geo-turístico sustentable en la Reserva, como herramienta de apoyo en la propuesta.

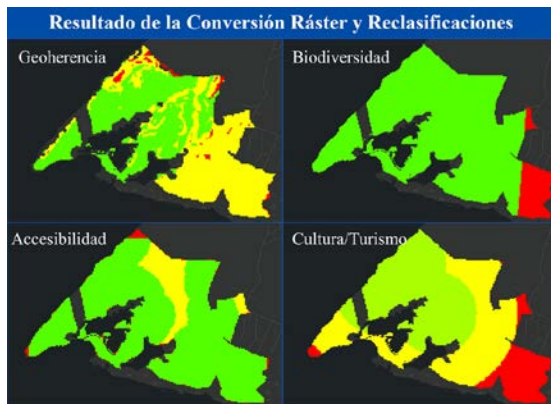
Tabla 1
Variables Consideradas en el Análisis

Capas Consideradas	Proceso en el Programa SIG
Geología y Topografía	Feature to Ráster, Slope, Reclassify
Hábitats Críticos de Vida Silvestre	Feature to Ráster, Resample, Reclassify
Caminos y Veredas	Euclidean Distance, Reclassify
Activos Culturales y Turísticos	Feature to Ráster, Buffer, Reclassify

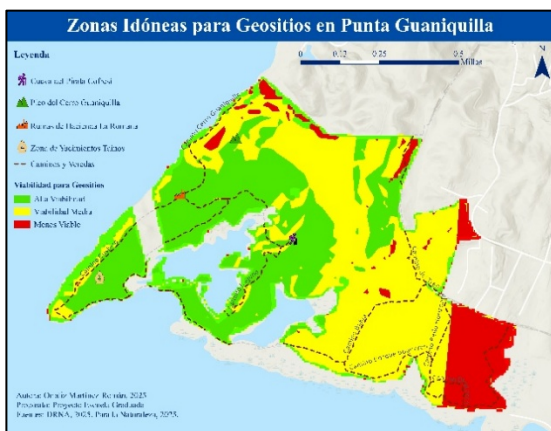
Los perfiles descritos permitieron asignar los valores para la reclasificación.

Tabla 2
Valores de Reclasificación por Variable

Conversión Vectorial a Ráster y Proceso de Reclasificación	
Criterio	Valor Asignado
Geoherencia	Relevancia: 1 = Alta, 2=Media, 3=Media
Biodiversidad	Clasificación: 1= Hábitat, 2=Fuera del Hábitat
Accesibilidad	Distancia: 1=0-10 m, 2=11-200 m, 3=201 m o más
Cultura/Turismo	Cercanía: 1=Punto, 2=Cercano al Activo (20 m), 3=Lejos



Mapa 6
Conversión y Reclasificación de los Criterios



Mapa 7
Mapa de Zonas Idóneas para Geositios en Punta Guaniquilla

El análisis ponderado muestra que un 37% del área de la Reserva tiene potencial alto para el

desarrollo de geo sitios, un 50% de la Reserva tiene potencial medio para el desarrollo de geo sitios y un 11% tiene potencial mínimo para el desarrollo de geositios. La zona con mayor potencial de desarrollo de geositios se ubica en la parte Oeste y Sur de la Reserva. La parte Norte y Este muestran un potencial medio, esto concuerda con la realidad geofísica de la Reserva ya que en esa área existe una vegetación densa y pendientes más agudas, lo que puede representar un reto para el acceso y desarrollo turístico. Por último, la parte Este de la Reserva muestra un potencial de desarrollo de geo sitios bajo, que puede estar relacionado con la ausencia de factores relevantes dentro de esa zona según los criterios considerados. El mapa se comparó con las capas de caminos y activos actuales, lo cual resalta que los caminos con mayor potencial para el desarrollo de geositios dentro de la Reserva son Camino Cerro Guaniquilla, Camino Costero y Camino Laguna.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Los Sistemas de Información Geográficos (SIG) y sus herramientas de análisis y procesamiento de datos permitieron evaluar los datos geológicos, culturales, turísticos y educativos en la Reserva mediante herramientas geoprocetamiento y análisis geoespaciales. Basado en la Lista de Verificación para la evaluación de un Geoparque, Punta Guaniquilla cuenta con un gran potencial para su admisión en el Programa. No obstante, se identificaron áreas que pueden potencializarse como la integración de las comunidades e instituciones educativas.

De otra parte, la metodología de reclasificación de variables por puntos y la ponderación de variables en SIG permitió generar el Mapa de Zonas Idóneas para Geo Sitios en Punta Guaniquilla, con factores de peso de 40% en la Geoherencia, 30% en la Biodiversidad, 20% en la Accesibilidad y 10% en la Cultura/Turismo, el cual es importante para demostrar el potencial de desarrollo de la Reserva como un Geoparque. Como resultado un 37% del área es idónea, mientras que un 50% del área mostró

idoneidad media para el desarrollo de geo sitios con las variables evaluadas. Finalmente, se concluye que las herramientas de geoprocésamiento y análisis del programa SIG y la Metodología Puntos en la Ponderación de Múltiples Variables resultó eficiente para la evaluación del potencial de desarrollo de un Geoparque en Punta Guaniquilla. Como consideraciones futuras en este tema, se pueden integrar factores adicionales como la hidrografía, riesgos y otros esfuerzos educativos y comunitarios en el análisis de ponderación para aumentar el porcentaje de idoneidad en la Reserva.

Las regulaciones de la zona permiten usos de bajo impacto ecológico que están acorde con la designación de geoparque. Para fortalecer el desarrollo de este y aprovechar de manera integral todas las áreas de la Reserva, se pueden establecer usos complementarios para las zonas con menor potencial geológico, ubicadas principalmente en la parte Este. Estas áreas pueden destinarse a la conservación y educación ambiental, mediante la creación de senderos interpretativos, estaciones de biodiversidad y programas de reforestación que promuevan el conocimiento y la protección del entorno natural. Asimismo, pueden funcionar como zonas de amortiguamiento ecológico, sirviendo de transición entre áreas de alto valor geológico y sectores más sensibles, lo que contribuiría a la estabilidad ecológica del geoparque.

Además, estas zonas representan una oportunidad estratégica para el desarrollo de la educación científica comunitaria. Se pueden establecer centros de interpretación y aulas al aire libre donde se impartan talleres, charlas y actividades prácticas sobre geología, biodiversidad, cambio climático y conservación. Estas iniciativas pueden ser desarrolladas en colaboración con escuelas, universidades y organizaciones científicas, fomentando el aprendizaje activo y el vínculo entre la comunidad y su entorno natural. También se pueden implementar programas de ciencia ciudadana, en los que los residentes participen en la recolección de datos ambientales, monitoreo de especies y observación de fenómenos naturales, fortaleciendo su rol como guardianes del territorio.

Se sugiere también fomentar el turismo de bajo impacto, con actividades como caminatas guiadas, fotografía de naturaleza y espacios para el bienestar, como zonas de meditación o yoga al aire libre. Además, estas zonas pueden albergar infraestructura de apoyo, como centros de visitantes, áreas de descanso y puntos de acceso controlado, que faciliten la experiencia en las zonas de mayor potencial. Finalmente, se recomienda integrar programas comunitarios y culturales que involucren a las comunidades locales a través de talleres de artesanía, eventos culturales y turismo comunitario, fortaleciendo así el vínculo entre la población y el geoparque, y diversificando la oferta turística de manera sostenible. Estas estrategias permitirán que las zonas de menor potencial geológico se conviertan en un recurso valioso que complementa y respalda el desarrollo integral del geoparque, al tiempo que promueven la educación, la participación y el empoderamiento de las comunidades locales.

A partir del estudio realizado sobre el potencial de desarrollo de geositos en la Reserva Natural Punta Guaniquilla, se abren diversas líneas futuras de investigación que pueden enriquecer tanto el conocimiento científico del área como su gestión sostenible. Una de las principales líneas es la caracterización geológica detallada de las zonas con alto y medio potencial, mediante estudios petrográficos, geomorfológicos y estratigráficos que permitan identificar con mayor precisión los elementos de valor geológico y su estado de conservación. También se puede investigar la accesibilidad y conectividad ecológica, evaluando la infraestructura existente y su impacto ambiental, así como modelando rutas óptimas que conecten zonas clave sin comprometer la integridad del ecosistema.

Otra línea relevante es el estudio de la percepción y participación comunitaria, que permita comprender el nivel de conocimiento, actitudes y disposición de las comunidades locales hacia el geoparque, así como el impacto de los programas de educación científica y turismo comunitario en la apropiación del territorio. En paralelo, se sugiere implementar investigaciones sobre biodiversidad y servicios ecosistémicos, con énfasis en el monitoreo

de flora y fauna, y la evaluación de funciones ecológicas.

Asimismo, se plantea la necesidad de evaluar el potencial educativo y científico del geoparque, mediante el diseño y validación de programas pedagógicos basados en el patrimonio natural, y el análisis del impacto de las aulas verdes y centros de interpretación en el aprendizaje formal y no formal. También se recomienda estudiar los riesgos naturales presentes en la zona, como deslizamientos o erosión, y proponer estrategias de adaptación y mitigación desde una perspectiva de gestión del riesgo. Finalmente, una línea clave será la evaluación de la capacidad de carga turística, para determinar el número óptimo de visitantes que pueden recibir las distintas zonas sin comprometer su integridad, y desarrollar modelos de manejo adaptativo que garanticen un turismo verdaderamente sostenible. Estas investigaciones no solo fortalecerán la base científica del geoparque, sino que también aportarán herramientas fundamentales para su planificación, manejo y proyección a largo plazo.

Este estudio no solo evidencia la fortaleza que presenta el uso del análisis geoespacial para determinar el potencial de la Reserva Natural Punta Guaniquilla para su designación como geoparque basado en los propios criterios de la UNESCO, sino que también ofrece una hoja de ruta para su desarrollo sostenible, integrando la conservación del patrimonio natural con la educación, la participación comunitaria y el turismo responsable.

REFERENCIAS

- [1] Programa Internacional de Geociencias y Geoparques. (2024). *Los geoparques Mundiales de la UNESCO* [En línea]. Disponible: <https://www.unesco.org/es/igpp/geoparks/about>.
- [2] Asociación Internacional de la Red Global de Geoparques. (2024). *¿Qué son los geoparques?* [En línea]. Disponible: <https://www.visitgeoparks.org/what-are-geopark>.
- [3] Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico (DRNA), *Documento de Designación de la Reserva Natural Punta Guaniquilla*, San Juan, PR, 2002, pp. 5.
- [4] Junta de Planificación del Gobierno de Puerto Rico. (2023). *Portal de Geodatos del Gobierno de Puerto Rico: Geografía* [En línea]. Disponible: https://gis.pr.gov/Pages/Geografia_PR.aspx.
- [5] Microjuris. (2013). *Fideicomiso de Conservación de Puerto Rico Crea Para la Naturaleza* [En línea]. Disponible: <https://aldia.microjuris.com/2013/06/05/fideicomiso-de-conservacion-de-puerto-rico-crea-para-la-naturaleza/>.
- [6] Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico (DRNA), *Documento de Designación de la Reserva Natural Punta Guaniquilla*, San Juan, PR, 2002, pp. 6.
- [7] C. Ríos-Reyes, S. Muñoz-Quintero y O. Acevedo-Charry, "Geotourism as a Strategy of Sustainable Rural Development of the Paipa-Iza Volcanic Complex in the Eastern Andes of Colombia: An innovative approach," en *Turismo y Sociedad*, vol. XXXI, 2022, pp. 281-301. DOI: <https://doi.org/10.18601/01207555.n31.13>.
- [8] D. Manco-Jaraba, C. Ríos y O. Castellanos, "Geotourism potential and challenges in the Archipelago of San Andrés, Providencia, and Santa Catalina (Colombia)," en *Turismo y Sociedad*, vol. XXXIV, 2024, pp. 67-110. DOI: <https://doi.org/10.18601/01207555.n34.03>.
- [9] UNESCO: Global Geoparks. (2022). *Checklist to define an aspiring UNESCO Global Geopark*. [En línea]. Disponible: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000383838>.
- [10] Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico (DRNA), *Documento de Designación de la Reserva Natural Punta Guaniquilla*, San Juan, PR, 2002, pp. 16.
- [11] A. Almodovar. (2021). *Puertoricogram: Laguna Guaniquilla Cabo Rojo Puerto Rico* [En línea]. Disponible: https://www.instagram.com/p/CNoDQVSR48/?img_index=7.
- [12] Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA). (2024). *Los Estuarios* [En línea]. Disponible: <https://espanol.epa.gov/espanol/los-estuarios>.
- [13] Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico (DRNA), *Documento de Designación de la Reserva Natural Punta Guaniquilla*, San Juan, PR, 2002, pp. 18.
- [14] Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico (DRNA), *Documento de Designación de la Reserva Natural Punta Guaniquilla*, San Juan, PR, 2002, pp. 27.
- [15] E. Ventosa-Febles, et. al. (2015). *Puerto Rico Critical Wildlife Areas* [En Línea]. Disponible: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.drn.a.pr.gov/historico/oficinas/arm/recursosvivos/costasreservasrefugios/pmzc/publicaciones/CWA_July2005.pdf.

- [16] Oficina Estatal de Conservación Histórica del Gobierno de Puerto Rico. (2016). *Sitios Arqueológicos del Municipio de Cabo Rojo* [En línea]. Disponible: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://docs.p.r.gov/files/OECH/Informaci%C3%B3n%20Arqueol%C3%B3gica%20por%20Municipio/Informaci%C3%B3n%20Arqueol%C3%B3gica%20del%20Municipio%20de%20Cabo%20Rojo.pdf>.
- [17] Municipio Autónomo de Cabo Rojo. (s. f.). *La Cueva del Pirata Cofresí*. [En línea]. Disponible: <https://www.caborojopr.net/lugares1.htm>.
- [18] Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico (DRNA), *Documento de Designación de la Reserva Natural Punta Guaniquilla*, San Juan, PR, 2002, pp. 30.
- [19] P. Waver y J. Schwagerl, (2009). *U.S. Fish and Wildlife Service Refuges and Other Nearby Reserves in Southwestern Puerto Rico* [En línea]. Disponible: extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://data.fs.usda.gov/research/pubs/iitf/GTR_IITF40.pdf.
- [20] J. Montillo. (s. f.). *Hacienda La Romana*. [En línea]. Disponible: <https://www.jaimemontilla.com/la-romana>.
- [21] Descubre Puerto Rico. (2025). *Cultura* [En línea]. Disponible: <https://www.discoverpuertorico.com/es/que-hacer/cultura#!grid~~~random-1>.
- [22] Compañía de Turismo de Puerto Rico, Instituto de Estadísticas de Puerto Rico. (2024). *Perfil del Visitante* [En línea]. Disponible: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://estadisticas.pr/files/Publicaciones/Perfil%20del%20Visitante%20A%C3%B1o%20Fiscal%202023-2024.pdf>.
- [23] UNESCO. (2025). *¿Qué son los Geoparques? – Áreas Principales*. [En línea]. Disponible: <https://www.unesco.org/es/igpp/geoparks/about#:~:text=Se%20incita%20a%20los%20Geoparques,procesos%20que%20en%20C3%A9%20se>.
- [24] Junta de Planificación del Gobierno de Puerto Rico. (2021). *Portal de Geodatos del Gobierno de Puerto Rico: Escuelas, Departamento de Educación de Puerto Rico* [En línea]. Disponible: <tps://gis.pr.gov/Pages/default.aspx>.
- [25] Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez. (2025). *Oferta Académica* [En línea]. Disponible: <https://www.uprm.edu/asuntosacademicos/oferta-academica-2/>.
- [26] Universidad Interamericana de Puerto Rico, Recinto de San Germán. (2025). *Oferta Académica* [En línea]. Disponible: <https://www.sg.inter.edu/oferta-academica/subgraduada/>.
- [27] DRNA y Junta de Planificación del Gobierno de Puerto Rico. (2014). *Reglamento del Área de Planificación Especial del Carso* [En línea]. Disponible: extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://gis.jp.pr.gov/Externo_Econ/Otras%20Areas%20-%20Vistas%20Publicas/Reglamento%20Especial%20de%20Carso.pdf.
- [28] Junta de Planificación del Gobierno de Puerto Rico. (2021). *Reglamento Sobre Áreas Especiales en Peligro de Inundación (8va rev.)* [En línea]. Disponible: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://gis.jp.pr.gov/Externo_Econ/Datos%20JP/Reglamento%20N%C3%BAm.%2013%20-%20Reglamento%20Sobre%20Areas%20Especiales%20de%20Riesgo%20a%20Inundaci%C3%B3n%20-%208va%20Rev.%20\(9-ene-2021\)%20\(r13\).pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://gis.jp.pr.gov/Externo_Econ/Datos%20JP/Reglamento%20N%C3%BAm.%2013%20-%20Reglamento%20Sobre%20Areas%20Especiales%20de%20Riesgo%20a%20Inundaci%C3%B3n%20-%208va%20Rev.%20(9-ene-2021)%20(r13).pdf).
- [29] Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA). (2022). *Zonas AE y VE* [En línea]. Disponible: <https://www.fema.gov/about/glossary/zone-ve-and-v1-30>.