





# CIENCIAS GEOGRÁFICAS

---

Revista de la Sección Nacional de Dominicana  
Instituto Panamericano de Geografía e Historia

Año 5, No. 5 (2024)

Sección Nacional de Dominicana  
IPGH

CONSEJO DIRECTIVO

**Bolívar Troncoso Morales**  
Presidente

**Cenia Correa**  
Vicepresidente

**José Osvaldo Suárez Ayala**  
Comisión de Cartografía

**Susana Hernández Peña**  
Comisión de Geografía

**Filiberto Cruz Sánchez**  
Comisión de Historia

**Eugenio Polanco Rivera**  
Comisión de Geofísica

REVISTA CIENCIAS GEOGRÁFICAS

Año 5, No. 5,  
diciembre, 2024

Formato impreso: ISSN 2811-4973

Formato en línea: ISSN 2811-4981

Coordinador de Publicaciones

**Mercedes Lourdes Frías**

Corrección de estilo

**Agencia de Soluciones Editoriales (ADSE)**

Diseño

**Alexandra Deschamps**

Impresión

**Editora Búho, S.R.L.**

Los conceptos expuestos en las  
investigaciones y artículos son de la exclusiva  
responsabilidad de sus autores.



Código QR para  
descargar formato digital:



# ÍNDICE

|  |     |
|--|-----|
| Presentación .....   | 7   |
| BOLÍVAR TRONCOSO MORALES   |     |
| Desigualdad espacial en la República Dominicana.<br>Caso: La Puya y Arroyo Hondo .....   | 11  |
| SUSANA HERNÁNDEZ PEÑA Y MARTIN RAPILLY   |     |
| Zonas de cultivos y pastos inundables<br>por huracanes tropicales mediante imágenes SAR.<br>Caso distrito municipal Lagunas de Nisibón,<br>provincia La Altagracia, República Dominicana ..... | 33  |
| EDWIN VLADIMIR MEDINA  |     |
| Análisis espacial de la atenuación de las ondas<br>sísmicas en la República Dominicana .....   | 63  |
| ANDRÉS MARÍA MORETA ROSARIO  |     |
| Assessing burned areas of tropical humid and<br>coniferous forests of the Dominican Republic<br>using MODIS. ....  | 95  |
| MARTIN RAPILLY, EDWIN MEDINA Y EMMA DILONÉ   |     |
| Evolución del manejo de impactos ambientales<br>en la minería metálica dominicana: hacia<br>las operaciones sostenibles .....  | 141 |
| DIANA M. SALCICCIA FREZZA, MSc   |     |

La educación en cambio climático para el desarrollo sostenible y su incidencia en la práctica docente del sistema educativo preuniversitario de la República Dominicana. . . . .193

FRANKLIN JESÚS TEJEDA

Motivaciones y expectativas del voluntariado de investigación en la universidad. Un estudio de caso en una investigación interdisciplinar del Instituto Geográfico Universitario (IGU) de la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD), República Dominicana . . . . .225

ESTRELLA DEL MAR TENA GRACIA

Cambios en los trazados de las líneas de costa, formación del *beachrock* y diferencias granulométricas en playa Najayo, San Cristóbal, República Dominicana. Caso: Playas Carlos Pinto y Los Pescadores . . . . .253

ANA HILDA VALERA ARIAS

Semblanza autores . . . . .285

# Presentación

La Revista de Ciencias Geográficas núm.5 de la Sección Nacional de República Dominicana del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) constituye un número especial. Se ha elaborado con la finalidad de proveer un espacio de publicación científica para que los investigadores, docentes y estudiantes puedan difundir los resultados de sus trabajos y hallazgos mediante tesis de grado o posgrado, así como de proyectos de investigaciones académicas.



En tal sentido, nuestra convocatoria ha recibido el apoyo esperado, por tanto, cuenta con artículos de investigaciones en las diferentes ramas de las ciencias geográficas, constituidas por la geografía física, la geografía humana y la cartografía. Los artículos integrados en este número fueron cuidadosamente seleccionados por un equipo de expertos que forman el comité de revisión de esta sección nacional, quienes revisan cada uno de los postulados según su área dentro de las ciencias geográficas.

Agradecemos a cada uno de los investigadores por los aportes que han ofrecido a este espacio de difusión que,

dado el alcance de nuestro organismo, les permitirá dar a conocer sus resultados en formato digital a todos los países miembros del IPGH.

Esperamos que en el próximo número sea posible continuar ampliando este espacio de difusión científica y que, además, sirva para motivar a otros investigadores para la proyección de sus trabajos.

**Lic. Bolívar Troncoso Morales-MTE**  
Director nacional del IGN-JJHM  
y presidente del IPGH

Revista

CIENCIAS GEOGRÁFICAS



# **Desigualdad espacial en la República Dominicana. Caso: La Puya y Arroyo Hondo**

SUSANA HERNÁNDEZ PEÑA Y MARTIN RAPILLY

COLABORADORES:

OSVALDO SUÁREZ, GERÓNIMO LAURENCIO, ELISAURI SUÁREZ

## **Resumen**

El presente artículo forma parte de la investigación realizada en diferentes comunidades del territorio nacional. El objetivo fundamental ha sido identificar los componentes sociales que provocan una marcada separación entre sus residentes, así como los procesos evolutivos de los mismos, aun cuando se ubican en un mismo entorno físico. El estudio fue realizado durante el periodo 2017 y 2018 por geógrafos y técnicos del Instituto Geográfico Universitario de la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD) con el apoyo de OXFAM Dominicana.

**Palabras clave:** desigualdad, territorio, pobreza, marginación, vulnerabilidad

## **Introducción**

Se realizó un análisis geohistórico de la situación de desigualdad social y espacial imperante en las poblaciones marginadas en diferentes puntos del territorio nacional,

residentes en un mismo entorno físico y algunas veces enclavadas dentro del territorio correspondiente a otros sectores con mayor poder adquisitivo.

Para la publicación del presente artículo escogimos el estudio “Tan cerca y tan lejos” realizado en los barrios La Puya y Arroyo Hondo, considerando las características físicas que comparten y la brecha socioeconómica que los separan. El enfoque socioespacial que guio la investigación nos permitió tener una visión más amplia de la realidad existente en estos sectores.

Los sectores Arroyo Hondo y La Puya constituyen dos comunidades ubicadas en la parte norte del Distrito Nacional, principal demarcación geográfica de la República Dominicana que alberga la capital del país. Estos sectores se ubican en territorios que comparten las mismas características físicas y morfológicas, sin embargo, a simple vista se observa una gran diferencia socioeconómica de los grupos humanos que los habitan, y esta es la razón que motivó el estudio.

La metodología utilizada para la ejecución de la investigación fue de tipo documental y de campo. Se visualizaron fotografías aéreas históricas del Departamento de Fotogrametría del Instituto Geográfico Universitario (IGU-UASD) y del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI), desde 1958 hasta 2010, así como mapas e imágenes satelitales. También, se hizo un levantamiento de información en campo mediante entrevistas a personas de las comunidades e instituciones clave para obtener informaciones fiables que nos permitieron realizar un análisis de la situación social de los residentes en estos sectores.

El análisis refleja la existencia de una amplia brecha social y espacial que separa a los residentes de estas comunidades, la que no se limita solo al aspecto económico, sino que también se refleja en las condiciones de organización, uso del suelo y en la percepción de un grupo de individuos con relación al otro, limitando las relaciones de convivencia a la cercanía espacial sin que exista interacción social.

## **Aspecto espacial**

Arroyo Hondo y La Puya son dos barrios del Distrito Nacional. Se sitúan en la llanura costera suroriental o del Caribe y ocupan parte del territorio de la subcuenca del río Isabela, específicamente en su afluente Arroyo Hondo, de donde toma su nombre el primero. El territorio que ocupan presenta un relieve accidentado.

**Figura 1.** Ubicación espacial de la zona de estudio



**Fuente:** Instituto Geográfico Universitario (IGU-UASD)

El barrio La Puya se localiza entre las coordenadas 18°30N y 69°56W, posee una topografía accidentada resultante de la depresión que forma al estar en la cuenca del río Isabela con suelos aluvionales aptos para las labores agrícolas.

Limita al norte con el río Arroyo Hondo y el sector Cerro de Arroyo Hondo; al este, con el Parque Zoológico Nacional; al sur, con los sectores Nuevo Arroyo Hondo y Viejo Arroyo Hondo; y al oeste, con la cañada y Cuesta Hermosa I (Figura 1).

## Origen

Como se evidencia en la Figura 1, el barrio La Puya se encuentra rodeado de sectores que los residentes llaman ‘los barrios de los ricos’. Su origen se remonta a la década del sesenta, coincidiendo con el desarrollo de la primera urbanización de la zona, Viejo Arroyo Hondo, aun cuando las razones de los asentamientos fueron por causas diferentes.

El barrio La Puya se formó por ocupación de tierras de un grupo de agricultores que buscaba terrenos para cultivar, comerciantes, asalariados y obreros que querían construir su vivienda. Para ese entonces, el lugar era una zona con características rurales sin viviendas ni vías de acceso (Figura 2), donde abundaban las plantaciones de cabuyas, lo que le dio origen al nombre de la comunidad, debido a que cuando los transeúntes caminaban por allí se puyaban con las mismas, por lo que comenzaron a denominarlo ‘barrio La Puya’.

Esos terrenos pertenecían al Estado, lo que provocó varios conflictos con las autoridades, especialmente durante la dictadura de Rafael Leónidas Trujillo. Inicialmente, 35 familias se instalaron en el lugar por su cercanía al centro

urbano de Santo Domingo. Según datos obtenidos de los fundadores del barrio, algunos parientes del dictador se apoderaron de los terrenos agrícolas y cerraron las vías de acceso a los residentes. Sin embargo, las primeras viviendas se mantuvieron y, posterior a la caída del régimen, fueron recuperadas por sus edificadores. De esta manera continuó la expansión del barrio.

**Figura 2.** Fotografía aérea ICM1958



**Fuente:** Instituto Cartográfico Militar (ICM)

**Figura 3.** Primeros asentamientos en La Puya



**Fuente:** Instituto Geográfico Universitario - DR-867

Por su lado, el proceso de urbanización del sector Viejo Arroyo Hondo (el primero de los circundantes) se inicia cuando la empresa inmobiliaria Reparto Villa Juana (más tarde Compañía de Inversiones), propiedad del desarrollador urbanista Luis Antonio Morales Peña, decide lotificar las colinas del arroyo que le da nombre al proyecto, debido

a las características físicas del cauce que pasa por los terrenos. El objetivo era que las familias de clase alta que residían en el centro de la ciudad, cuyos espacios se veían limitados a causa de la construcción de avenidas (situación propia de una ciudad en crecimiento), pudieran alejarse del bullicio del centro, facilitándole un lugar donde pudieran construir viviendas más espaciaosas con grandes jardines y otras comodidades (Archivo de Compañía de Inversiones, C. por A.).

**Figura 4.** Expansión urbana al año 2000



Fuente: INDRHI 99-236

**Figura 5.** Reducción de franja de terreno que separa La Puya y Arroyo Hondo



Fuente: Google Earth - 2018

Hasta la década de los 80 y 90 entre La Puya y Arroyo Hondo existía una franja de terrenos que mantenía una separación física entre los dos grupos poblacionales, pero en la actualidad el paisaje ha sido modificado con nuevas construcciones e implementación de comercios que han reducido el límite a solo la avenida principal (La Vega Real), lo que también ha reducido la brecha espacial, por eso lo describimos como “Tan cerca y tan lejos”.

El crecimiento poblacional en La Puya se dio de manera paulatina por agrupamiento familiar, pues los primeros asentados le facilitaban instalarse a otros parientes que llegaban desde su lugar de origen en distintas provincias y municipios del país, como Bonaó, La Vega, San José de Ocoa;

y de áreas rurales de Santo Domingo, como Guaricanos, Cristo Rey, entre otros, aprovechando la disponibilidad de terreno para construir su casa, que constituyen el 74,7 % de los hogares.

Más adelante, el éxodo rural que marca la migración campo-ciudad en la República Dominicana, que se produjo a partir de los años 70, contribuyó al surgimiento de los llamados barrancones en la parte trasera de otra casa. Estos constituyen el 16,7 % de los hogares de La Puya, generando así el apiñamiento de las viviendas. Sin embargo, en la actualidad, solo un tercio de las familias posee viviendas propias, debido a que algunos propietarios realizaron anexos a sus viviendas con la finalidad de alquilar y obtener algún ingreso extra. Este fenómeno que se repite en la mayoría de las construcciones ha incrementado el número de residentes no propietarios.<sup>1</sup>

## Organización territorial

La morfología urbana del barrio La Puya está estructurada de forma horizontal con algunas construcciones verticales que cubren todos los terrenos desde las zonas alomadas, cercanas a la avenida La Vega Real (parte más elevada) en su límite sur, hasta las cañadas que desembocan en los afluentes del río Isabela (lado norte) donde los terrenos presentan una pendiente de hasta 10 %.

Al momento de esta investigación el barrio contaba con aproximadamente 1200 viviendas, algunas subdivididas para

---

<sup>1</sup> Fuente: Instrumento levantamiento de información.

usos multifamiliares o mixtos de vivienda y comercio. Por ejemplo, existen edificaciones donde en la parte frontal hay un comercio y detrás habita la familia. La mayor parte de la población de La Puya vive en condiciones de hacinamiento, donde habitan alrededor de 6 miembros por familia.

El número de habitantes resulta incierto, ya que la Oficina Nacional de Estadística proporciona los datos de población del barrio La Puya junto a la población del sector Altos de Arroyo Hondo, que contaba con 19,676 habitantes, de los cuales 10,202 son mujeres y 9,474 hombres; en cuanto a la edad, el 64.4 % son adultos, entre 15 y 64 años; mientras que el 27.8 % son menores de 14 años, evidenciando un predominio de población en edad productiva (ONE, 2010).

Las edificaciones de esas viviendas se realizaron sin respetar normas de construcción, de manera anárquica, con materiales de baja calidad y carentes de cimientos firmes debido a su ubicación en suelos arcillosos, cuya característica de baja porosidad hace que retengan agua haciéndolos inestables para las construcciones y vulnerables a derrumbes por deslizamientos de tierra, generando así una alta vulnerabilidad para los habitantes en caso de ocurrencia de eventos de origen natural o antrópicos.

Tal como se presenta en la Figura 6, los elementos arquitectónicos y estructurales de la mayoría de las casas en La Puya son techos de zinc, piso de cemento, paredes de madera y bloques de cemento; carecen de patio trasero o delantero, y no cuentan con linderos que las separe de las otras viviendas. En contraste con esta realidad, en la Figura 7 se visualiza una imagen de los sectores del entorno donde existen viviendas confortables, algunas constituidas por más

de un nivel, con jardines, piscinas, estacionamientos para vehículos y cercadas con altos muros. Regularmente están ocupadas por familias de no más de 4 miembros.

**Figura 6.** Características de las viviendas en La Puya



Fuente: IGU-OXFAM

**Figura 7.** Características de las viviendas en Arroyo Hondo



Fuente: IGU-OXFAM

En cuanto a la organización espacial y la accesibilidad, el barrio La Puya sólo cuenta con dos vías de acceso, calle Apolo 11 y calle 1.<sup>a</sup>, las únicas transitables por vehículos de cuatro gomas, el resto son numerosos callejones que sólo se pueden recorrer a pie o en motor, formando una especie de laberinto que, sumado a la forma caótica del entramado de las redes eléctricas como tela de araña que dificultaría contener algún conato de incendio, impidiendo la salida de los habitantes del sector y dificultando la entrada a los organismos de socorro, constituye un riesgo para sus residentes (Figura 8). Mientras, en Arroyo Hondo las calles son de dos vías amplias y asfaltadas, algunas viviendas cuentan con entradas exclusivas y seguridad privada, como se puede visualizar en la Figura 9.

**Figura 8.** Vía de acceso del sector La Puya



**Figura 9.** Vía de acceso del sector Arroyo Hondo



## Situación social

En el barrio La Puya existe escases de los servicios básicos, tales como agua potable y recogida de basura, y tampoco cuenta con un centro de salud. Las condiciones de mal manejo de desechos y aguas residuales lo convierten en un foco de enfermedades, como gripe, diarrea y dengue. Esta situación es acompañada por una economía deprimida, una alta tasa de desempleo y delincuencia incontrolada. En ocasiones sus habitantes son objeto de marginación laboral, pues sin importar su preparación académica son rechazados en los lugares donde solicitan empleo, tan solo por su lugar de residencia.

Actualmente, solo el 37 % de los hogares tiene acceso a agua potable dentro de la vivienda; las demás familias deben abastecerse del agua en los patios (44,9 %) y en una llave pública, un manantial, con camiones de agua u otros (18,1 %). Además, el 17,9 % de los hogares tira su basura en el patio de la casa o en la calle (Figura 10), ya que no poseen servicio de recogida de basura, compartiendo espacio incluso con

los centros de expendio de alimentos, creando las condiciones propicias para el desarrollo de epidemias.

En comparación, en los sectores Nuevo y Viejo Arroyo Hondo las viviendas poseen cisterna y hasta piscina, allí solo el 1 % de los habitantes tira la basura en el patio o en la calle, como se evidencia en la Figura 11; los demás disfrutan de los servicios públicos o privados de recogida de basura.<sup>2</sup>

**Figura 10.** Manejo de los desechos de basura en La Puya



**Figura 11.** Manejo de los desechos de basura en Arroyo Hondo



## Educación

En cuanto a la educación, el barrio La Puya dispone de un plantel donde funcionan la Escuela Primaria Prof. Juan Bosch y el Liceo Nuestra Señora de La Altagracia (nocturno), donde reciben docencia el 86.3 % de los niños y adolescentes del barrio. Sin embargo, el 14.8 % de la población es analfabeta (MINERD, 2018).

---

<sup>2</sup> Fuente: Instrumento de recolección de información.

En La Puya solo un 7.9 % de la población estudiantil llega al nivel superior, la mayoría asiste a la Universidad Autónoma de Santo Domingo (universidad pública del país), mientras que los niños y jóvenes de los sectores circundantes asisten a colegios privados de alta calidad con transporte exclusivo y continúan con sus estudios superiores en prestigiosas universidades privadas (SIUBEN, 2017). En las Figuras 12 y 13 se muestra con claridad la disparidad entre los centros educativos.

**Figura 12.** Centro educativo en el sector La Puya



**Figura 13.** Centro educativo en el sector Arroyo Hondo



## Seguridad ciudadana

En cuanto a la seguridad ciudadana, según un artículo publicado por Bisonó en *Diario Libre*, la delincuencia en el sector es muy alta. Según la policía es considerado como un punto crítico de delincuencia nacional. El 85 % de las personas entrevistadas declararon que ellos o un familiar fueron afectados por la delincuencia en los últimos 2 años. De esta cifra, según afirmaron, en la mitad de los casos hubo

una pérdida de vida humana (como medida de seguridad los entrevistados recomendaron a nuestro equipo no acceder a determinadas zonas del barrio).

Por su lado, la mayoría de las familias de Arroyo Hondo cuentan con servicios de vigilancia o seguridad privada, además de automóviles privados que les permiten desplazarse reduciendo el nivel de riesgo de ser atracados.

Otro fenómeno a resaltar fue la alta tasa de embarazo en adolescentes, las cuales luego de tener un hijo a temprana edad se ven precisadas a abandonar los estudios y el sueño de mejorar su calidad de vida.<sup>3</sup>

## Situación económica

Los niveles de ingresos de gran parte de la población del barrio La Puya se sitúan dentro de la categoría ‘bajo’, representando el 87 %; un 12 % se considera ‘medio’ y tan solo un 1 % entra dentro del renglón ‘alto’ (Calidad de Vida, SIUBEN, 2018). Esta situación se debe a que la principal fuente de ingreso proviene del chiripeo o comercio informal, destacándose las peluquerías, talleres de mecánica, panaderías, venta de ropas, puestos de freiduras y de frutas, ventas de rubros y otros artículos en triciclos, complementada por el ingreso proveniente de alquileres de parte de la vivienda (Figura 14). Mientras los residentes de Arroyo Hondo son mayoritariamente profesionales en diferentes áreas, empresarios y funcionarios.

---

<sup>3</sup> Fuente: Instrumento de recolección de información.

Figura 14: Principales fuentes de ingreso en La Puya



Fuente: IGU-OXFAM

Otro elemento a destacar es la diferencia en los precios del terreno, aun cuando comparten un mismo espacio. En La Puya es muy bajo en comparación con los barrios cercanos e ilustra la gran diferencia de nivel de vida entre sus habitantes. Los terrenos de La Puya se venden a un precio de mil quinientos pesos por metro cuadrado, mientras que en todos los sectores del entorno el precio por metros cuadrados es de ocho mil pesos. El documento “Índice de precio, Distrito Nacional” de la Dirección General de Catastro Nacional (p.14), destaca que el precio promedio de alquiler de un apartamento en La Puya es de seis mil pesos, cuando en los sectores circundantes los precios de alquiler oscilan entre mil y dos mil dólares mensuales.

Figura 15. Actividades económicas en Arroyo Hondo



Fuente: IGU-OXFAM

## Conclusiones

González (2011) define la desigualdad espacial como “una unión que entrelaza numerosas relaciones que no solo se circunscriben a escalas locales, sino que rebasan las fronteras de las naciones; la condición que da paso a las diferencias está sujeta por el acceso, el ejercicio, las capacidades y el empoderamiento que, a su vez, cada uno conduce a incorporar la intervención del Estado”. Además, afirma que “para que los grupos sociales puedan satisfacer sus necesidades básicas que les posibilite el *ser* y *hacer* tienen que existir aquellos derechos de índole social e individual que asegure la vida, libertad e igualdad”.

En los sectores Arroyo Hondo y La Puya la disparidad socioespacial está bien definida, pues, aunque ambos comparten un espacio con las mismas características físicas, terrenos aluviales atravesados por una cañada y con significativa pendiente, esta desigualdad se manifiesta especialmente en los aspectos sociales, contrastando la opulencia de un grupo frente a la escasez del otro.

Según el Mapa de Pobreza (2014), en el Distrito Nacional las carencias en piso, techo, pared, asistencia escolar, GLP y energía eléctrica se encontraban en niveles muy bajos, situación que favorece la erradicación de estos lastres en la capital y abre un espacio para intervenciones focalizadas, ya que en algunos barrios esta podría ser la causa de altos niveles de pobreza (p.234). Aun cuando el Boletín de Estadísticas Oficiales de Pobreza (2016-2017) sugiere que la pobreza en las zonas urbanas se ha reducido en 3.2 %, en el barrio La Puya esta reducción no se percibe, debido a que aún existen hogares que utilizan fogón de piedras, anafes a carbón para la cocción de los alimentos y piso de tierra con paredes de hojas de latas.<sup>4</sup>

La Puya se caracteriza por la falta de servicios básicos, la miseria, el hacinamiento, la pobreza, el desempleo, la delincuencia, el bajo índice de escolaridad, alto índice de embarazos en adolescentes y, en ocasiones, marginación laboral, ya que, las personas son rechazadas en los lugares donde solicitan empleo, sin importar su preparación, a causa del alto grado de criminalidad de su lugar de residencia.

---

<sup>4</sup> Fuente: Información verificada mediante el trabajo de campo realizado por el equipo IGU/OXFAM.

Los habitantes de La Puya viven en situación de alta vulnerabilidad ambiental y social, debido a la baja calidad en las edificaciones y a las características del terreno con significativa pendiente, lo que produce con frecuencia deslizamientos de tierra que pueden ser catastróficos frente a la ocurrencia de un fenómeno telúrico de mediana magnitud. A esto se le añade la vulnerabilidad social de riesgos de incendio debido a las conexiones inadecuadas del tendido eléctrico y la dificultad y estrechez de las vías de acceso, que impiden la llegada a tiempo de los organismos de socorro. Hay que resaltar que no cuentan con los recursos económicos ni técnicos para hacer frente a los efectos de cualquier evento natural o antrópico, lo que pone en riesgo la vida de las personas que habitan en ese barrio. Además, el alto nivel de delincuencia imperante crea inseguridad a los residentes.

En tanto, los pobladores de los diferentes sectores de Arroyo Hondo pertenecen a la clase alta de la sociedad, su poder adquisitivo es elevado, lo que les permite disfrutar de una vida holgada, llena de lujos y comodidades, factor que les posibilita reacondicionar el espacio con técnicas de paisajismo y convertirlo en residencias seguras y lugares de ocio.

Estos resultados evidencian una marcada desigualdad entre los habitantes de los sectores Arroyo Hondo y La Puya, que debe constituir un llamado a los organismos encargados de considerar la puesta en ejecución del plan de ordenamiento territorial planteado en la Ley núm.368-22, aprobada en diciembre del año 2022, la cual plantea en el artículo 8, numerales 7 y 8: “Prevención y mitigación de la vulnerabilidad del territorio. Persigue la reducción de los

niveles de exposición ante eventos naturales y acciones antrópicas que afecten los asentamientos humanos”; y “Cohesión territorial. Promueve la continuidad paisajística, de infraestructura de servicios entre territorios”.

Dicho lo anterior, recomendamos considerar la reubicación de los habitantes de La Puya, y convertir ese espacio en un lugar de recreación, sumándolo a los trabajos de remozamiento que se realizan en Cristo Rey, los cuales pueden ser considerados viables, ya que en parte se reduciría los desastres ocasionados por deslizamientos de tierra y, por consiguiente, se garantizaría la seguridad de los habitantes de este sector. Además, esto permitiría aprovechar las características físicas de lugar, como son la cercanía del arroyo y la pendiente del terreno que abren un abanico de posibilidades de aprovechamiento para el tiempo de ocio.

Finalmente, proponemos crear fuentes de empleo para los jóvenes-adultos y brindarles capacitación a los adolescentes para tratar de evitar los embarazos, así como ayudarlos a alejarse de las calles, de manera que se pueda reducir el alto índice de delincuencia. Asimismo, desde el Ministerio de Deportes crear las condiciones para incentivar las prácticas deportivas en los jóvenes del barrio La Puya, como una forma de contribuir con su bienestar físico, social y emocional, lo que al mismo tiempo favorecerá a toda la comunidad.

## Referencias

Bisonó, S. (7 de mayo de 2014). Delincuencia en La Puya de Arroyo Hondo Carta al presidente. *Diario Libre*. <https://www.diariolibre.com/opinion/delincuencia-en-la-puya-de-arroyo-hondo-FEDL597471>

- Compañía de Inversiones, C. por A. (s. f.). Revisión de archivos: planos y plan de urbanización.
- Dirección General de Catastro Nacional. (2023). Índice de precio, Distrito Nacional. <https://www.catastro.gob.do/phocadownload/IndicedePrecios/2023/Indice%20de%20precios%20Distrito%20Nacional.pdf>
- Ferrajoli, L. (2006). Las columnas de la desigualdad espacial, *Revista Geográfica de América Central*, EGAL, 2011.
- Fotografía aérea de los archivos del Instituto Geográfico Universitario IGU-UASD.
- González César, L. (2011). Las columnas de la desigualdad espacial. *Revista Geográfica de América Central*, 2(47E). <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/279>
- Historia Dominicana en Gráficas. (6 de septiembre de 2019). El Club Arroyo Hondo cumple hoy 50 años. <https://www.facebook.com/historiadominicanaengraficas/posts/1068354036696412/>
- Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Vuelo INDRHI 99-236.
- Ley núm. 368-22 de Ordenamiento Territorial, Uso de Suelo y Asentamientos Humanos. Crea el Sistema Nacional de Información Territorial. G. O. No. 11092 del 22 de diciembre de 2022.
- Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (julio, 2018). Boletín de Estadísticas Oficiales de Pobreza Monetaria, 3(vol.5). [https://mepyd.gob.do/wp-content/uploads/drive/UAAES/Estimaciones%20de%20Pobreza/Boleti%CC%81n%20de%20Estadisti%CC%81sticas%20Oficiales%20de%20Pobreza%20Monetaria%205%20\(rev%20ano\).pdf](https://mepyd.gob.do/wp-content/uploads/drive/UAAES/Estimaciones%20de%20Pobreza/Boleti%CC%81n%20de%20Estadisti%CC%81sticas%20Oficiales%20de%20Pobreza%20Monetaria%205%20(rev%20ano).pdf)

- Morillo Pérez, A. (2014). Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo. El mapa de pobreza en la República Dominicana 2014.
- Ministerio de Educación de la República Dominicana (2018). Estadísticas de centros educativos del Distrito Nacional.
- Oficina Nacional de Estadísticas (ONE) (2012). Informe Básico. IX Censo Nacional de Población y Vivienda 2010.
- Superintendencia de Bancos de la República Dominicana. Tercer Estudio socioeconómico de Hogares, Sistema Único de Beneficiarios (SIUBEN), 2017. <https://siuben.gob.do/portaltransparencia/proyectos-y-programas/descripcion-de-los-programas-y-proyectos/2017>
- Superintendencia de Bancos de la República Dominicana. Tercer Estudio Socioeconómico, Calidad de Vida, Sistema Único de Beneficiarios (SIUBEN), 2018. <https://siuben.gob.do/wp-content/uploads/2020/10/siuben-calidad-de-vida-2018-digital.pdf>



# **Zonas de cultivos y pastos inundables por huracanes tropicales mediante imágenes SAR. Caso: distrito municipal Lagunas de Nisibón, provincia La Altagracia, República Dominicana**

EDWIN VLADIMIR MEDINA

## **Resumen**

La República Dominicana, debido a su localización geográfica en el Caribe, está en la ruta de los huracanes y tormentas tropicales, fenómenos que producen inundaciones de forma recurrente. Por tal motivo, las imágenes de Radar de Apertura Sintética (SAR) son una herramienta útil para la identificación de las áreas afectadas. El estudio se realizó en 144.36 km<sup>2</sup> de zonas de cultivos y pastizales del distrito municipal Lagunas de Nisibón de la provincia La Altagracia, con el objetivo de determinar las inundaciones y parcelas más afectadas por los huracanes Irma y María en 2017, Isaías en 2020 y Fiona en 2022, mediante el uso de las imágenes Sentinel-1. Para este análisis se procesaron las imágenes en el programa SNAP de la Agencia Espacial Europea (ESA) para extraer el área inundada, paralelamente se interpolaron datos de precipitación por el método de Distancia Inversa Ponderada (IDW), así como el mapeo de zonas inundadas en QGIS. Se determinó que las precipitaciones oscilaron entre 63 y 247 milímetros (mm), afectando entre 91.18

y 1349 hectáreas localizadas especialmente entre las comunidades de Lagunas de Nisibón y Las Guamas. Los huracanes María y Fiona fueron los de mayor impacto y ambos afectaron de forma similar 41 parcelas.

**Palabras clave:** huracanes, inundación, sentinel-1, precipitación, parcelas, Nisibón.

## **Introducción**

Los huracanes son una de las mayores amenazas naturales, y como resultado del cambio climático se espera un aumento de su frecuencia e intensidad (Frausto, 2014)<sup>1</sup>, por lo que las inundaciones producidas por estos son una problemática importante y actual. En ese sentido, las herramientas de monitoreo espacial, como las imágenes SAR, han sido utilizadas recientemente. Estas son imágenes de alta resolución, a gran distancia, obtenidas por un tipo especial de radar que utiliza las microondas<sup>2</sup>. Desde la perspectiva del radar, la inundación define la presencia de superficie de agua bajo un dosel de vegetación o sin vegetación establecida, conocida como agua abierta (Podest et al, 2019)<sup>3</sup>, por esta razón son una fuente importante de información para la toma de decisiones a nivel público y privado.

---

<sup>1</sup> Frausto, O., 2014.

<sup>2</sup> Agencia Espacial Europea (ESA). (9 de noviembre de 2022). Radar de Apertura Sintética (SAR).

<sup>3</sup> Podest, E., S. McCartney, E. J. Fielding, A. L. Handwerger, and N. A. Grunfeld Brook. 2019.

En la República Dominicana<sup>4</sup>, de los riesgos naturales más importantes, las inundaciones producidas por tormentas tropicales y huracanes entre 1966 y 2000, el 13 % corresponde a esta causa, por lo que es necesario el uso de estas imágenes satelitales SAR para un monitoreo continuo de las zonas más expuestas a estos fenómenos. Motivado por esa problemática, este estudio busca utilizar estas imágenes en las áreas de cultivos y pastos del distrito municipal Lagunas de Nisibón que, por su ubicación geográfica en el este del país, está muy expuesta a las tormentas y huracanes (Cardona, 2001).

La investigación sigue un enfoque cuantitativo basado en datos climáticos (precipitación), imágenes satelitales, parcelas catastrales y otras fuentes de información, por lo que el objetivo principal es mostrar la utilidad de las imágenes SAR para la determinación de áreas inundadas y comparar estos resultados con la información climática y catastral.

Las informaciones arrojadas por este estudio buscan aportar conocimiento sobre las áreas potenciales de inundación vulnerables a estos fenómenos atmosféricos. Metodológicamente, se procesan las imágenes SAR antes y después del paso de cuatro huracanes: Irma y María en 2017, Isaías en 2020 y Fiona en 2022. En este caso, se utilizaron las Sentinel-1 en el programa SNAP de la Agencia Espacial Europea (ESA) para extraer las áreas de inundaciones y ser mapeadas en el Sistema de Información Geográfica (SIG). De forma paralela se interpolan los datos climáticos con el método de Distancia Inversa Ponderada (IDW) para precipitación en la

---

<sup>4</sup> Cardona, O. D., 2001.

zona, y se comparan ambos resultados para tener una visión más clara de lo acontecido.

No hay documentación referente a las imágenes SAR en la República Dominicana, por lo que es una limitante a la hora de comparar resultados y metodologías. Otro de los inconvenientes que presenta la investigación es el acceso a la información actualizada, como en el caso de catastro parcelario que esta actualizado al año 2014 para la zona de estudio.

Entre los resultados esperados están los productos cartográficos de área inundada e identificación de las parcelas que se ven más afectadas. Finalmente, el aprendizaje de este modelo de extracción de información es una de las justificaciones de este trabajo de investigación.

## Área de estudio

### Ámbito territorial

El área de estudio tiene una extensión territorial de 144.36 km<sup>2</sup> y corresponde a zonas de cultivos de arroz y pastizales. Como podemos ver en la Figura 1, administrativamente se localiza entre los distritos municipales La Otra Banda, Verón-Punta Cana y Lagunas de Nisibón de la provincia La Altagracia en el sureste de la República Dominicana.

El distrito municipal Lagunas de Nisibón tiene la mayor porción de terrenos, con el 64.29 % del área de estudio; y una población de 9,831 habitantes, que representa solo el 3.91 % de la población de la provincia (ONE, 2016).<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Oficina Nacional de Estadísticas, 2016.

Figura 1. Mapa de la zona de estudio en la provincia La Altagracia



Nota. Las capas vectoriales de los distritos municipales fueron suministradas por la Oficina Nacional de Estadísticas (ONE) a partir de la cartografía censal del año 2010.

Geológicamente, el área está formada por lutitas, cantos, gravas y arenas del Pleistoceno-Holoceno con material orgánico y vegetación abundante. Toda la zona tiene llanuras de inundación y presencia de manglares en el área costera, mientras que en los sectores más alejados a la costa existe una plataforma superior de calizas arrecifales de la Formación Isabela y calizas bioclásticas con corales de la Formación Haitises (BRGM, 2010).<sup>6</sup>

<sup>6</sup> BRGM, 2010.

Hydrográficamente, la zona tiene varios arroyos y un río importante, el Maimón. Su cuenca está rodeada de bosques subtropicales y pastizales, tiene poca desviación climática, pero experimenta temporadas de fuertes lluvias y sequías (Taylor, De León, et al., 2015).<sup>7</sup> Otros arroyos destacables son La Vacama, Olivo y Palma.

En las proximidades del área de estudio se encuentran dos áreas de manejo de hábitat y especies: los refugios de vida silvestre Lagunas Redonda y Limón y Ría Maimón que están dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas para la protección de especies nativas y endémicas (MIMARENA, 2012).<sup>8</sup>

Entre las comunidades que se benefician de estas zonas de cultivos y pastizales además de Lagunas de Nisibón están las siguientes: El Eslabón, Entrada de la Zanja, La Zanja, Cañada Honda, La Vacama, Boca de Maimón, Las Guamas, Hicoteo, La Ceiba, Los Blandinos, El Hilo, Pueblo Nuevo, El Caño, El Salado, El Macao, El Manguito, Uvero Alto, entre otras.

## Materiales

Para el análisis de las zonas inundables se utilizaron las imágenes radar del sensor Sentinel-1 de la Agencia Espacial Europea (ESA), el producto de este procesamiento fue comparado con datos climáticos de los huracanes Irma y María (2017), Isaías (2020) y Fiona (2022); finalmente, se utilizaron

---

<sup>7</sup> Taylor, N., J. De León, K. Watkins, and S. Keane, 2015.

<sup>8</sup> Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012.

las parcelas catastrales del área de estudio para determinar cuáles de estas fueron afectadas por las inundaciones.

## Imágenes de Satélite Sentinel-1

Se utilizaron imágenes de satélite radar Sentinel-1 de nivel 1, tipo de producto Ground Range Detected (GRD) y modo del sensor Interferometric Wide (IW) del programa Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA). En total fueron ocho imágenes divididas en dos por cada huracán analizado en este estudio. Estas fueron pre y postevento para los fenómenos Irma y María (2017), Isaías (2020) y Fiona (2022), como podemos ver en la Tabla 1.

Las imágenes están a una resolución espacial de 10 metros y cada una tiene cuatro polarizaciones (VV, HH, VH, HV). Según Joseph (2005),<sup>9</sup> la polarización define la orientación de los campos electromagnéticos. Si el vector eléctrico está en el plano de incidencia se le denomina ‘polarización vertical’ y si está en el ángulo correcto del plano de incidencia es llamada ‘polarización horizontal’, la cual es un importante parámetro en sensores remotos especialmente en la región de los microondas.

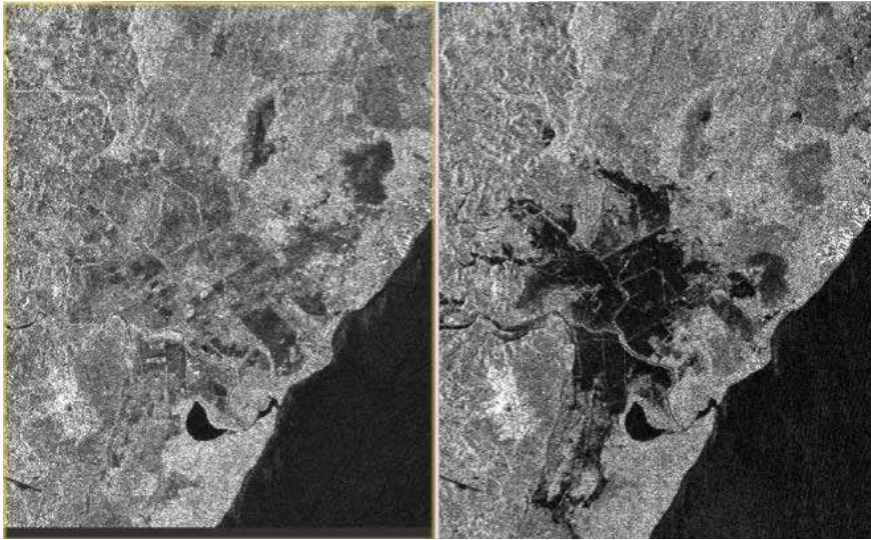
De las cuatro polarizaciones anteriormente mencionadas se utilizó como banda para extraer la capa de inundaciones la polarización VV (Figura 2). Esta combinación de polarización se denomina polarización similar, ya que tanto la transmisión y la polarización recibida son las mismas, como en el caso también de la HH<sup>10</sup>.

---

<sup>9</sup> Joseph, G., 2005.

<sup>10</sup> CCRS, 2014.

**Figura 2.** Imágenes Sentinel-1 con la polarización VV antes y después del huracán Fiona



**Nota.** Extracto del programa SNAP para procesamiento de imágenes Sentinel-1

Las imágenes colectadas para cada fenómeno atmosférico tienen la misma órbita (ascendente y descendente) para evitar posibles inconvenientes a la hora del procesamiento, especialmente cuando se trate de la calibración y la corrección geométrica.

## Datos de precipitación

Los datos de precipitación corresponden a la lluvia acumulada medida en milímetros (mm) por los efectos directos e indirectos de las tormentas y huracanes Irma, María, Isaías y Fiona. El archivo se compone de coordenadas UTM, altitud y precipitación, además de otros datos marginales de las

estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio, como podemos ver en la Tabla 2. La información fue suministrada por la división de Climatología Aplicada de la Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET).

Como se puede ver en la Tabla 3, los huracanes dejaron acumulados de lluvia considerables para las cinco estaciones cercanas, entre las que destacan Miches con 228.6 y 335.3 mm, para los huracanes Isaías (2020) y Fiona (2022), respectivamente; de forma general el huracán Fiona fue el de mayor precipitación con valores comprendidos entre 165.6 y 335.3 milímetros en tres días.

## **Otras fuentes de datos**

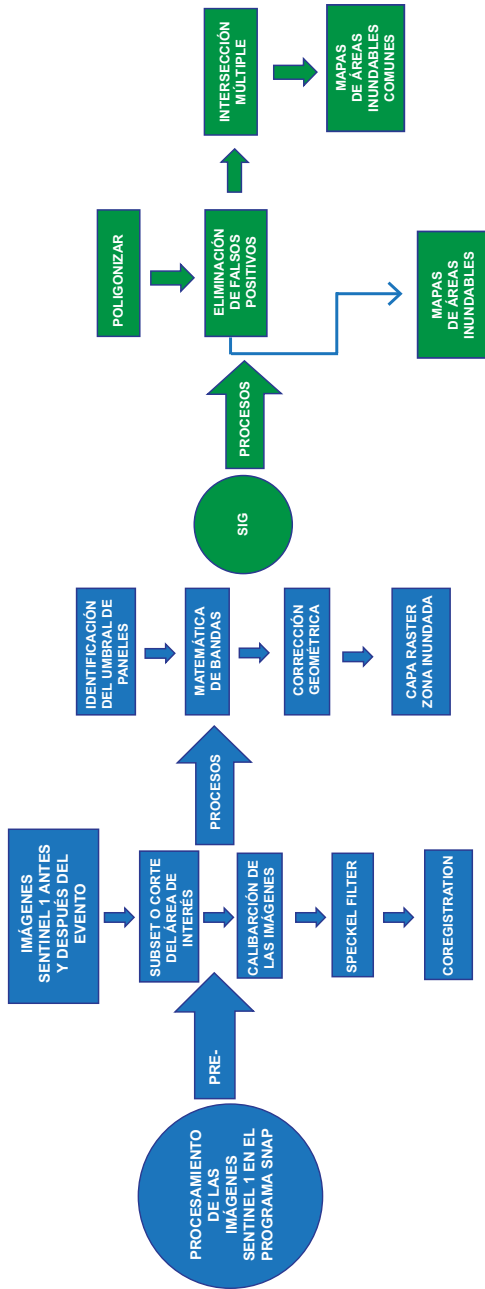
Para la identificación de parcelas inundables se utilizó las capas vectoriales de parcelas catastrales de Lagunas de Nisibón y su entorno, actualizadas hasta el año 2014. Estas son propiedad de la Jurisdicción Inmobiliaria de la República Dominicana, ente regulador del Catastro Nacional.

En el área de estudio existen registradas 238 parcelas en la Jurisdicción Inmobiliaria, actualizadas hasta 2014, de las que solo se catalogarán las inundadas por los fenómenos a estudiar.

## **Flujo de trabajo**

Como se observa en la Figura 3, la metodología utilizada para la identificación de las áreas inundables se basa en dos fases: el procesamiento de las imágenes de satélite en el programa SNAP versión 9.0.0 y geoprocésamiento de la información en el programa QGIS versión 3.26.2.

Figura 3. Flujo de trabajo metodológico



La primera fase consta de un preprocesamiento de las imágenes y luego el cálculo de la variable a estudiar (inundación), mientras que la segunda fase se realiza en un Sistema de Información Geográfica (SIG) se depura la información con geoprosos y se procede al mapeo de la data.

## Preprocesamiento

Dadas las características de las imágenes de nivel 1, estas deben pasar por un preprocesamiento. Se procede a hacer un corte o *subset* del área de interés sobre la banda VV de ambas imágenes (pre y postevento) de cada fenómeno atmosférico; el mismo reduce los tiempos y requerimientos del computador.

A estas bandas resultantes se les aplica el calibrado utilizando como parámetro el  $\sigma_0$ , según la Agencia Espacial Europea (ESA)<sup>11</sup>, que es un coeficiente de dispersión, un número adimensional normalizado que compara las fuerzas esperadas y observadas en un metro cuadrado.

Las imágenes calibradas pasan por un proceso de *filtrado de manchas o speckle filter* para homogenizar las zonas y reducir el efecto de moteado, con el *filtro Lee* a (7x7) en tamaño de los píxeles. Lee es un filtro lineal puntual que minimiza el error cuadrático medio (Mascarenhas, 1997).<sup>12</sup>

El preprocesamiento termina cuando las bandas ya calibradas y filtradas se combinan en un solo archivo en forma de *compilado o stack* con la herramienta *Coregistration*. Este

---

<sup>11</sup> ESA, 2022.

<sup>12</sup> Mascarenhas, N. D., 1997.

archivo está listo para los procesos de extracción de información espacial.

## Procesamiento

Se analizan los histogramas de las imágenes después de cada evento para identificar el valor que sirve como umbral para diferenciar agua de suelo, como podemos ver en la Tabla 4, y se procede a crear una máscara con estos valores, aplicando la herramienta *Matemática de Bandas* para hacer cálculos con la capa ráster elaborada.

Con la *Matemática de Bandas* se discrimina aquellos valores inferiores al umbral de las capas antes y postevento, en este caso quedan por defecto valores que corresponden a agua. Finalmente, estas capas se restan para obtener los píxeles inundados.

La capa resultante es un ráster con valores binarios, donde 0 corresponde a “no inundado” y 1 a “inundado”; a esta se le aplica una corrección geométrica aplicando varios parámetros, como se ve en la Tabla 5, entre los que destacan: modelo digital de elevación (MDE), método de remuestreo de la imagen y del MDE, proyección del mapa, espaciado del píxel en metros y en grados.

El último paso de esta fase es la exportación del ráster de área inundada a formato compatible con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), en este caso el formato Tiff.

## Geoprocesos y mapeo de zonas inundables

La segunda y última fase del proceso metodológico es la aplicación de geoprocesos en las capas ráster de zona inundada

en QGIS, así como la depuración de la información bruta. A las capas se les aplica un proceso de conversión de tipo ráster a vectorial utilizando la herramienta *Poligonize* (Raster to vector). La nueva capa en formato vectorial permite el análisis de áreas y es un formato de fácil manejo para el SIG.

Esta información debe ser depurada, ya que puede haber falsos positivos especialmente en las zonas cercanas a ríos donde el algoritmo puede tener errores comparando agua estancada con fuentes de agua permanente.

En conclusión, se mapea las zonas inundadas por cada huracán y se procede a calcular las áreas inundadas en kilómetros cuadrados o hectáreas de terreno y, utilizando paralelamente la herramienta *Intersección Múltiple*, se determinan los polígonos que fueron inundados por los cuatro huracanes tratados en este estudio.

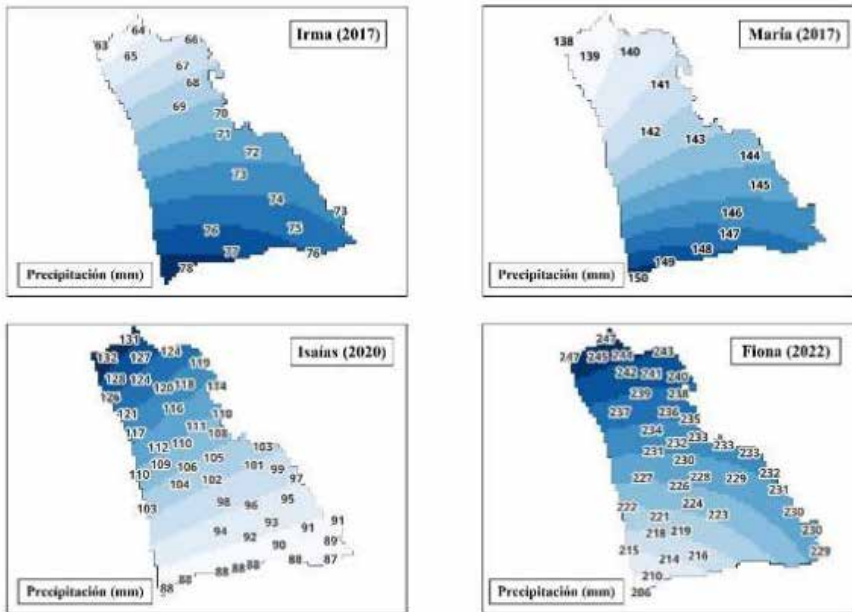
La información que dan los mapas y los datos de las tablas de atributos se comparan con informaciones de precipitación y catastro para sacar conclusiones del impacto de los huracanes en las zonas de cultivos y pastos de Lagunas de Nisibón.

## Resultados

### Precipitaciones

Al hacer una *interpolación* de tipo IDW a los datos meteorológicos de las estaciones se obtuvo la precipitación del área de estudio, como se puede ver en la Figura 4. El producto del impacto de estos huracanes son los acumulados de lluvia que van desde los 63 mm, en el caso de Irma, hasta 247 mm, en Fiona; siendo estos los valores mínimos y máximos, respectivamente.

**Figura 4.** Ráster de precipitación de los huracanes en el área de estudio



**Nota.** Para la elaboración de estos mapas se utilizó el método de interpolación IDW. Es un método de predicción espacial, donde el valor de la variable es un promedio ponderado en el que se le otorga un mayor peso a los puntos vecinos y menor mientras se aleja de su zona de influencia (Maglione, Soto, et al., 2019).<sup>13</sup>

Irma, en el año 2017, fue el huracán de menor precipitación, ya que los valores oscilan entre los 63 y 78 mm, con una media de 70 mm. Las mayores precipitaciones se concentraron en el suroeste del área estudiada, mientras que los valores más bajos están hacia el norte; la zona central registró valores entre 71 y 73 mm.

<sup>13</sup> Maglione, D., Soto, J., Saézn, J. L., and Bonfili, O., 2019.

La precipitación del huracán María en ese mismo año produjo acumulados importantes de lluvia, con valores que oscilan entre los 138 y 150 mm, con una media de 144 mm. Las mayores precipitaciones se concentraron en el suroeste, mientras que los valores más bajos se ubicaron en el norte; la zona central registró valores cercanos a la media de entre 142 y 143 mm. A pesar de que no fue el fenómeno con las mayores precipitaciones, sus acumulados de lluvias presentan buena distribución geográfica, con valores importantes y homogéneos en toda el área de estudio.

Isaías, en el año 2020, produjo acumulados de lluvia que oscilan entre los 87 y 132 mm, con una media de 112 mm. Las mayores precipitaciones se concentraron en el norte y, por el contrario, las menores se ubicaron en el sureste y suroeste, mientras que la zona central registró valores entre 101 y 110 mm; a diferencia de María, donde prácticamente los grandes acumulados de lluvia se distribuyeron en el norte.

El huracán Fiona, en 2022, es el de mayor precipitación del grupo, con valores que oscilan entre los 206 y 247 mm, con una media de 228 mm. Las mayores precipitaciones se concentraron en el norte, mientras que los valores más bajos en el suroeste; la zona central registró valores entre 228 y 234 mm. Este fenómeno tuvo igual patrón de distribución que María, con bastante lluvia a lo largo del área de estudio.

## **Zonas inundadas**

Como se puede ver en la Figura 5, el huracán Irma, año 2017, fue el de menor impacto en las zonas de cultivos y pastos, con una extensión total de área inundada de 91.18

hectáreas, que representan menos del 1 % del área estudiada. Las inundaciones se distribuyeron prácticamente en el área central entre las comunidades de Lagunas de Nisibón y Las Guamas, por lo que los efectos fueron mínimos en comparación con los demás fenómenos.

**Figura 5.** Mapa del área inundada por el huracán Irma en el 2017 mediante imágenes SAR



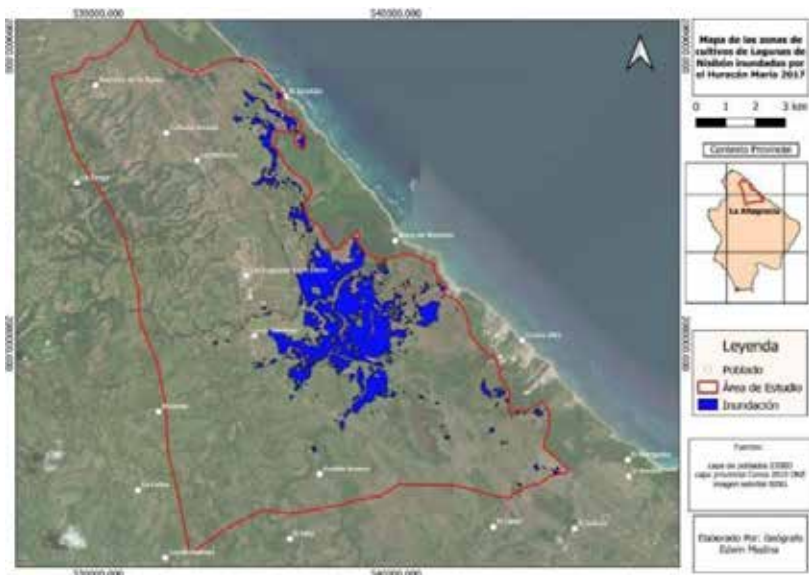
**Nota.** Elaboración propia con base en las siguientes fuentes: capa de poblados EL-GEO, capa provincial censo 2010 (Oficina Nacional de Estadísticas, 2015),<sup>14</sup> imagen satelital Bing.

El huracán María, año 2017, es el segundo de mayor impacto en la zona, con una extensión de área inundada

<sup>14</sup> Oficina Nacional de Estadísticas, 2015.

de 1,202 hectáreas, que representan el 8.33 % del área estudiada. Las inundaciones se distribuyen a lo largo de la franja costera, pero concentradas principalmente en el área central, próximo a las comunidades de Lagunas de Nisibón, Las Guamas y Boca de Maimón, además de superficies de estancamiento de agua en el noreste, próximo a El Eslabón, La Vacama, Cañada Honda; y en el sureste, en las proximidades de Uvero Alto, como podemos ver en la Figura 6.

**Figura 6.** Mapa del área inundada por el huracán María en el 2017 mediante imágenes SAR

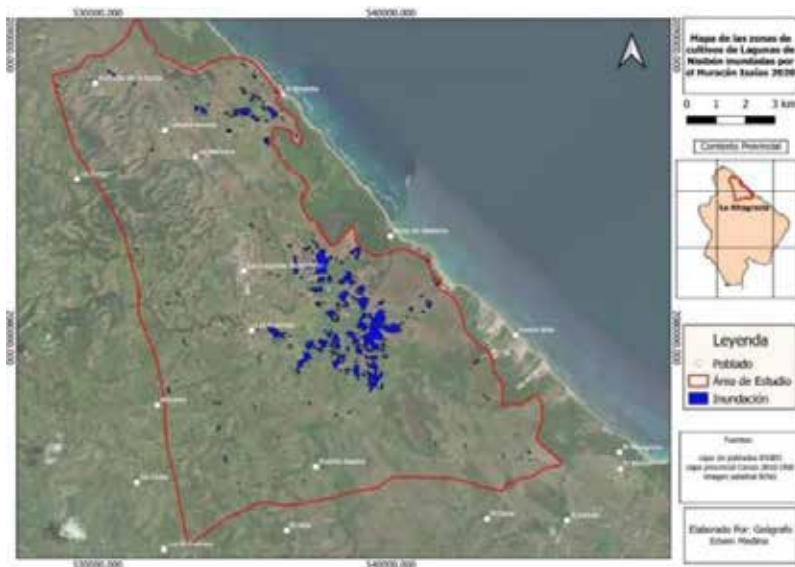


**Nota.** Elaboración propia con base en las siguientes fuentes: capa de poblados EL-GEO, capa provincial censo 2010 (Oficina Nacional de Estadísticas, 2015),<sup>15</sup> imagen satelital Bing.

<sup>15</sup> Ibidem.

El tercer fenómeno estudiado fue el huracán Isaías, año 2020. La zona inundada total es de 377.74 hectáreas, que representa solo el 2.62 % del área estudiada. Isaías es un caso especial, tomando como referencia la cantidad de lluvia y el terreno, como se puede observar en la Figura 7, ya que, a pesar de tener los mayores valores de precipitación en el norte, la zona de inundación se localiza en el centro próximo a Lagunas de Nisibón y La Vacama, con otra pequeña zona al noreste próxima a El Eslabón.

**Figura 7.** Mapa del área inundada por el huracán Isaías en el 2020 mediante imágenes SAR

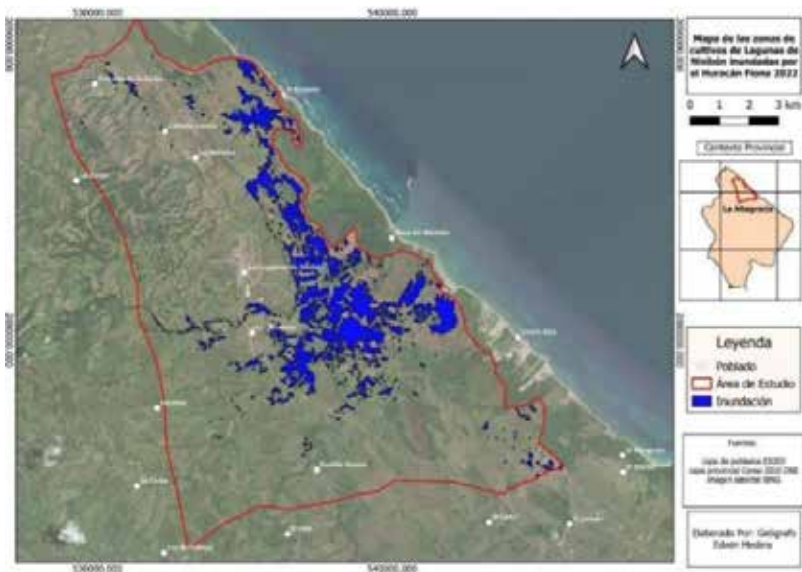


**Nota.** Elaboración propia con base en las siguientes fuentes: capa de poblados EL-GEO, capa provincial censo 2010 (Oficina Nacional de Estadísticas, 2015)<sup>16</sup>, imagen satelital Bing.

<sup>16</sup> Ibidem.

El caso más reciente es el huracán Fiona en septiembre del 2022. Este fenómeno fue el de mayor impacto en la zona, el área inundada total es de 1,349 hectáreas, que representa el 9.35 % de la superficie estudiada. La inundación se distribuye a lo largo de la franja costera con las mayores extensiones en el centro, próximo a Lagunas de Nisibón y Las Guamas, además de las zonas norte y noreste; afectó las comunidades Entrada de la Zanja, Cañada Honda, La Vacama y El Eslabón.

**Figura 8.** Mapa del área inundada por el huracán Fiona en el 2022 mediante imágenes SAR

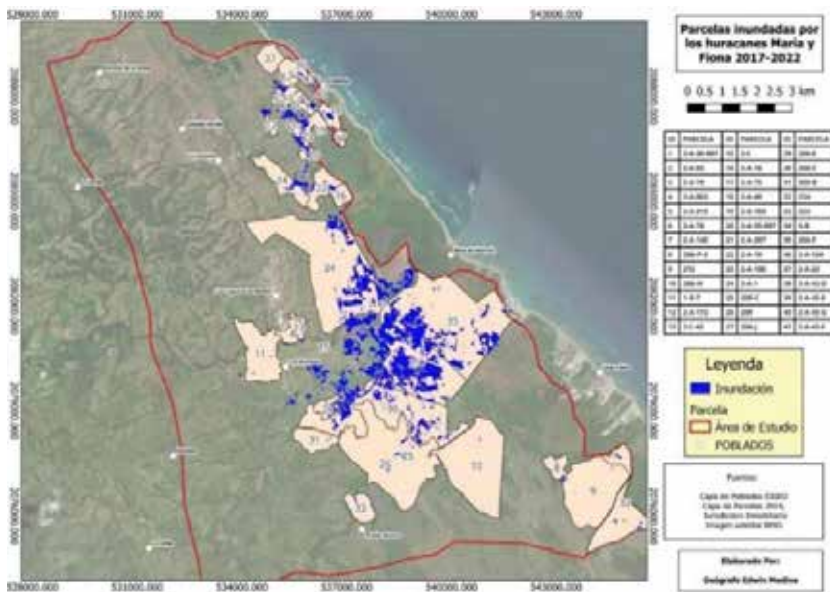


**Nota.** Elaboración propia con base en las siguientes fuentes: capa de poblados EL-GEO, capa provincial censo 2010 (Oficina Nacional de Estadísticas, 2015)<sup>17</sup>, imagen satelital Bing.

<sup>17</sup> Ibidem.

En lo que respecta a Fiona y María, al aplicar una intersección múltiple a ambos para determinar las áreas comunes de acumulación de agua y analizar el catastro, se puede determinar cuáles parcelas están expuestas a estas inundaciones, como podemos ver en la Figura 9 los huracanes afectaron 41 parcelas.

**Figura 9.** Mapa de parcelas inundadas por los huracanes María y Fiona mediante imágenes SAR



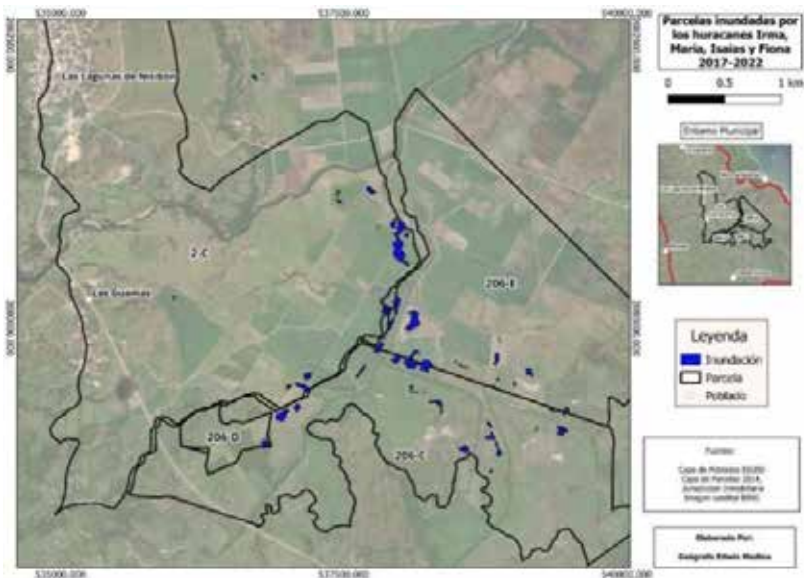
**Nota.** Elaboración propia con base en las siguientes fuentes: capa de poblados EL-GEO, capa de parcelas 2014 (Jurisdicción Inmobiliaria, 2014)<sup>18</sup>, imagen satelital Bing.

<sup>18</sup> Jurisdicción Inmobiliaria, 2014.

El total de área común inundada por María y Fiona es de 638.18 hectáreas, localizadas especialmente en la zona central, próxima a Lagunas de Nisibón y La Guamas.

Al aplicar otra intersección múltiple, en este caso para todos los fenómenos, como se observa en la Figura 10, se obtuvo un área total común de 11.53 hectáreas, localizadas íntegramente en la zona central afectando pequeñas porciones de las parcelas 2-C, 206-D, 206-C y 206-E.

**Figura 10.** Mapa de parcelas inundadas por los huracanes Irma, María, Isaías y Fiona mediante imágenes SAR



**Nota.** Elaboración propia con base en las siguientes fuentes: capa de poblados EL-GEO, capa de parcelas 2014 (Jurisdicción Inmobiliaria, 2014)<sup>19</sup>, imagen satelital Bing.

<sup>19</sup> Jurisdicción Inmobiliaria. 2014. Parcelas catastrales 2014.

Como se observa en la Tabla 6 al comparar los datos de inundación con precipitación en nuestra área de estudio, se puede inferir que los huracanes Fiona y María impactaron más de 1000 hectáreas con valores medios de 144 y 138 mm, respectivamente; mientras que, en el caso de Isaías, a pesar de tener una precipitación media de 112 mm con máximos de 132 mm, su área de inundación es bastante reducida en comparación con los dos antes mencionados.

## Discusión

Los resultados muestran que las precipitaciones de los huracanes lluviosos Irma, María, Isaías y Fiona oscilan entre los 63 y 249 mm, que afectaron entre 91 y 1,349 hectáreas de terrenos de cultivo y pastizales, siendo Fiona, en 2022, el de mayor impacto. Las parcelas afectadas por los cuatro fenómenos atmosféricos son las 2-C, 206-D, 206-C y 206-E que suman 11.53 hectáreas de terreno inundado.

Este estudio es inédito en la República Dominicana, por lo que los resultados obtenidos están abiertos a futuras discusiones. A nivel metodológico se puede discutir sobre cuál *software* y procedimiento es más beneficioso. En este sentido, Podest y otros (2019)<sup>20</sup>, aplican la extracción de área inundada mediante Google Earth Engine (GEE) y utiliza una clasificación supervisada como modelo.

Esta metodología en GEE con clasificación supervisada dependerá de las áreas de entrenamiento, ya que los errores en la clasificación están sujetas a su calidad, por lo

---

<sup>20</sup> Podest, E., McCartney, S., Fielding, E. J., Handwerger, A. L., & Grunfeld Brook, N. A., 2019.

que una futura discusión científica podría comparar ambas metodologías.

La realización del estudio tuvo algunas limitaciones. Al ser una investigación íntegramente de gabinete, no se pudo obtener información en campo, como registros oficiales de la alcaldía local o experiencias de los comunitarios que pueden aportar más data al estudio. De igual manera, la falta de acceso a informaciones oficiales y data actualizada pueden provocar que se presenten discrepancias en futuros trabajos. Asimismo, la metodología utilizada es factible de mejorar, especialmente en la identificación de los umbrales de agua acumulada, debido a que su obtención mediante la manipulación visual del histograma de la imagen genera falsos positivos, por lo que es válido tenerlo en cuenta.

Por otro lado, una de las fortalezas del estudio es que representa el punto de partida para futuras investigaciones con imágenes SAR para identificar zonas vulnerables a inundaciones en la República Dominicana; adicional a esto, los mapas pueden ser una herramienta para la planificación local de este tipo de comunidades rurales.

En conclusión, las imágenes SAR son una herramienta importante para la identificación de inundaciones, especialmente en la zona del Caribe que está expuesta a los huracanes tropicales y la cobertura considerable de nubes.

## **Conclusión**

Los huracanes objeto de estudio presentan valores de pluviometría entre los 63 y 247 mm, siendo Irma (2017) y Fiona (2022) los de menor y mayor precipitación, respectivamente.

Las zonas inundadas por los huracanes fueron las siguientes: Irma, 91.18 hectáreas; Isaías, 377.74 ha; María, 1,202 ha; y Fiona, 1,349 ha de terreno. A nivel porcentual las zonas afectadas están en el intervalo de 0.63 y 9.33 % de las 14,345 ha del área total del estudio.

Las mayores inundaciones se localizan en el área central, en las proximidades de las comunidades de Lagunas de Nisibón y Las Guamas. Otras áreas pequeñas de inundación se ubican en el noreste y sureste, próximo a las comunidades de El Eslabón y Uvero Alto, respectivamente.

Los huracanes María y Fiona afectaron de forma común a 41 parcelas de la zona estudiada, mientras que las parcelas 2-C, 206-D, 206-C, 206-E se vieron afectadas por todos los fenómenos estudiados.

Según los resultados de este estudio, aplicar imágenes SAR para inundaciones es fiable.

## **Referencias**

- Agencia Espacial Europea (ESA). (2022). Radar de Apertura Sintética (SAR). *ESA eduspace*. [https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace\\_ES/index.html](https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_ES/index.html).
- Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM). (2010). Mapa Geológico de la República Dominicana Escala 1:50,000 La Vacama (6472-I). Servicio Geológico Nacional, Santo Domingo, 124. [https://www.sgn.gob.do/images/mapas/cartog\\_geologica\\_sgn/cgeo\\_rd/](https://www.sgn.gob.do/images/mapas/cartog_geologica_sgn/cgeo_rd/).
- Cardona, O. D. (2001). *Los desastres ocurridos en la República Dominicana 1966-2000*. Secretariado Técnico de la Presidencia, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.

- CCRS. (2014). *Tutorial: Fundamentals of Remote Sensing*.
- Frausto, O. (2014). *Monitoreo de riesgo y desastre asociados a fenómenos hidrometeorológicos y cambio climático*. Cozumel: Métodos, Bases de datos, discursos. Universidad de Quintana Roo.
- Joseph, G. (2005). Electromagnetic Radiation. In *Fundamentals of Remote Sensing*, 29. Universities Press.
- Jurisdicción Inmobiliaria. (2014). Parcelas catastrales 2014.
- Maglione, D., Soto, J., Saénz, J. L., & Bonfili, O. 2019. Utilización de diferentes metodologías para la construcción de un mapa de precipitación acumulada en la Provincia Santa Cruz. *Informes Científicos Técnicos-UNPA 11*: 154-159.
- Mascarenhas, N. D. (1997). An Overview of Speckle Noise Filtering in SAR Images. In *Image Processing Techniques, First Latino-American Seminar on Radar Remote Sensing*, 71-79.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2012). Biodiversidad. En *Atlas de Biodiversidad y Recursos Naturales de la República Dominicana*, por Alcántara E. Reyna y Martínez A. Polonia, 31-32. Santo Domingo.
- Oficina Nacional de Estadística. (2015). ShapeFiles Censo 2010.
- Oficina Nacional de Estadística. (2016). Higüey. Editado por ONE. *Tu municipio en cifras*. <https://archivo.one.gob.do/provinciales-y-municipales/tu-municipio-en-cifras>.
- ONAMET. (2022). Base de Datos. Santo Domingo: Oficina Nacional de Meteorología.
- Podest, E., S. McCartney, E. J. Fielding, A. L. Handwerger, & Grunfeld Brook, N.A. (2019). *SAR para desastres y aplicaciones hidrológicas*. NASA Applied Remote Sensing

Training Program (ARSET). <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/spanish/arset-sar-para-desastres-y-aplicaciones-hidrológicas>.  
Sentinel Online. (2022). <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/home>.  
Taylor, N., De León, J., Watkins, K., & Keane, S. (2015). Analysis of Potential Dam on the Maimon River in The Dominican Republic. Brigham Young University, Provo. [http://cecapstone.groups.et.byu.net/sites/default/files/2015DR/Maimon\\_Report.pdf](http://cecapstone.groups.et.byu.net/sites/default/files/2015DR/Maimon_Report.pdf).

## Anexos

**Tabla 1.** Características de las imágenes Sentinel-1 descargadas para el estudio

| Huracán | Imágenes pre y postevento       | Fechas                 | Órbita      |
|---------|---------------------------------|------------------------|-------------|
| Irma    | 20170826T103030_20170907T103045 | 26/8/2017<br>7/9/2017  | Descendente |
| María   | 20170828T224446_20170921T224446 | 28/8/2017<br>21/9/2017 | Ascendente  |
| Isaías  | 20200719T224503_20200731T224503 | 19/7/2020<br>31/7/2022 | Ascendente  |
| Fiona   | 20220907T224518_20220919T224517 | 7/9/2022<br>19/9/2022  | Ascendente  |

**Tabla 2.** Estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio

| Estación              | Localidad                 | UTM X     | UTM Y      | Altitud |
|-----------------------|---------------------------|-----------|------------|---------|
| Aeropuerto Punta Cana | ONAMET                    | 567596.81 | 2052706.45 | 7 m     |
| San Rafael de Yuma    | Ministerio de Agricultura | 534410.63 | 2037359.89 | 51 m    |
| Higüey                | Ministerio de Agricultura | 531542.50 | 2058858.22 | 86 m    |
| Miches                | Ministerio de Agricultura | 495556.90 | 2098724.68 | 14 m    |
| El Seibo              | AGAM                      | 531542.5  | 2058858.2  | 114 m   |

**Nota.** El campo localidad se refiere al organismo encargado de cada estación meteorológica.

Elaborada con base en los datos suministrados por la Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET).

**Tabla 3.** Precipitación acumulada por huracanes en el área de estudio en milímetros (mm)

| Estación              | Irma  | María | Isaías | Fiona |
|-----------------------|-------|-------|--------|-------|
| Aeropuerto Punta Cana | 50    | 163.4 | 53.5   | 290.9 |
| San Rafael de Yuma    | 109.7 | 76.2  | 71.9   | 293.2 |
| Higüey                | 85.9  | 169.1 | 64     | 165.6 |
| Miches                | 22.7  | 180.6 | 228.6  | 335.3 |
| El Seibo              | 58.4  | 69.9  | 196.1  | 222.3 |

**Nota.** Las estaciones seleccionadas son las más cercanas. Se utilizó como parámetro que su distancia lineal entre la estación y el centroide del área sea menor a 50 km. Elaborada con base en los datos suministrados por ONAMET, 2022.

**Tabla 4.** Umbrales de las imágenes Sentinel -1 para discriminar agua de suelo

| Huracán | Fecha                    | Umbral  |
|---------|--------------------------|---------|
| Irma    | 7 de septiembre de 2017  | 5.99E-2 |
| María   | 22 de septiembre de 2017 | 4.91E-2 |
| Isaías  | 31 de julio de 2020      | 3.43E-2 |
| Fiona   | 19 de septiembre de 2022 | 6.39E-2 |

**Nota.** Los umbrales se obtienen con la herramienta Colour Manipulation jugando con el histograma de valores.

**Tabla 5.** Parámetros utilizados para la corrección geométrica de la capa de inundación

| Campo                       | Parámetro              |
|-----------------------------|------------------------|
| Modelo digital elevación    | SRTM 1Sec HGT          |
| Método de remuestreo MDE    | Bilinear Interpolation |
| Método de remuestreo imagen | Nearest Neighbour      |
| Espaciado de Pixel (m)      | 10                     |
| Espaciado de Píxel (°)      | 8.98                   |
| Proyección del mapa         | WGS84                  |

**Nota.** El campo espaciado de píxel en metros y grados viene dado por defecto por las características del ráster.

**Tabla 6.** Comparación de las hectáreas inundadas y la precipitación

| Huracán | Año  | Inundación (Ha) | Prec. Media | Prec. Min | Prec. Max |
|---------|------|-----------------|-------------|-----------|-----------|
| Irma    | 2017 | 91.18           | 70 mm       | 63 mm     | 78 mm     |
| María   | 2017 | 1202.06         | 144 mm      | 138 mm    | 150 mm    |
| Isaías  | 2020 | 377.74          | 112 mm      | 87 mm     | 132 mm    |
| Fiona   | 2022 | 1349.12         | 228 mm      | 206 mm    | 247 mm    |

**Nota.** Los datos de precipitación fueron interpolados con el modelo IDW.



# **Análisis espacial de la atenuación de las ondas sísmicas en la República Dominicana**

## **Spatial Analysis of the Attenuation of Seismic Waves in the Dominican Republic**

ANDRÉS MARÍA MORETA ROSARIO<sup>1</sup>

### **Resumen**

Esta investigación constituye un análisis espacial de la atenuación de las ondas sísmicas en la República Dominicana. Para ello, se seleccionó una muestra de 10,248 eventos sísmicos de la base de datos del Centro Nacional de Sismología de la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD). Se extrajo un factor de calidad (Q) en cinco frecuencias, que indica el decaimiento de la onda sísmica en cada una de estas. Luego, se hizo un análisis exploratorio y estadístico a los datos para ver su distribución espacial y observar qué tan normal es su distribución. Se busca un interpolador que de alguna manera responda lo mejor posible a estas estadísticas, se interpolan los datos y, finalmente, se obtienen los mapas que muestran la atenuación de las ondas sísmicas en todo el país y en cada una de las provincias de manera particular.

---

<sup>1</sup> Centro Nacional de Sismología, Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD). Correos electrónicos: amoreta78@uasd.edu.do; andresmoreta.r@gmail.com.

El estudio concluye que las provincias que presentan mayor nivel de atenuación en su territorio son Barahona y Pedernales, en tanto que el Distrito Nacional y la provincia Santo Domingo presentaron los niveles más bajos de atenuación de las ondas sísmicas.

**Palabras clave:** atenuación, frecuencia, clases.

### **Abstract**

In the present work, end of Master, a spatial analysis of the attenuation of seismic waves in the Dominican Republic is made. For this, 10,248 seismic events were selected from the database of the National Seismology Center of the Autonomous University of Santo Domingo. A quality factor (Q) is extracted, in five frequencies, which indicates the decay of the seismic wave in each of these. An exploratory analysis is made to the data to see the spatial distribution of the same, then a statistical analysis is carried out to observe how normal the distribution of these data is, an interpolator is sought that somehow responds as best as possible to these data statistics, the data is interpolated and finally the maps showing the attenuation of seismic waves throughout the country and in each of the provinces in a particular way are obtained, evidencing that the provinces with the highest level of attenuation in their territory are Barahona and Pedernales, while the National District and the Santo Domingo province were the ones that presented the lowest levels of seismic wave attenuation.

**Keyword:** attenuation, frequency, classes.

## Introducción

La seguridad ha sido una preocupación desde los anales de la historia del ser humano. En la antigüedad, el hombre se enfrentó a diversos peligros que ponían en riesgo su vida, de tal forma que centró sus esfuerzos en poner todos los medios necesarios para salvaguardarla. Por eso se vio en la imperiosa necesidad de crear herramientas de protección ante todo tipo de amenazas, principalmente de origen natural, tales como terremotos y otros fenómenos de igual índole (INCIBE, 2015).

Aún en nuestros días la ocurrencia de los mismos representa peligro, por lo que seguimos desarrollando herramientas que nos ayuden a minimizar los posibles daños que pudiésemos enfrentar ante estos fenómenos. Una de esas herramientas son los sistemas de información geográfica, los cuales nos permiten hacer análisis espacial para conocer mejor el área geográfica en la que nos desenvolvemos y así tomar las medidas que sean necesarias para evitar daños a nuestra integridad física y bienes materiales.

El análisis espacial de la información generada en los estudios geocientíficos ha consistido generalmente en la superposición de los datos analógicos recopilados y plasmados en forma de mapas en una mesa para realizar un posterior análisis visual (Bonham-Carter, 1994). Este nos permite la manipulación de datos espaciales en diferentes formas y hace posible extraer como resultado conocimientos adicionales sobre los procesos que ocurren en el espacio de interés para tener una mejor comprensión de estos (Ojeda & Tovar, 2016).

La República Dominicana se encuentra localizada en la parte norte de la placa tectónica del Caribe, donde esta

interactúa con la norteamericana, y presenta varios sistemas de fallas geológicas importantes, lo que la hace propicia para la ocurrencia de terremotos destructivos (Mann, Grenville, & Lewis, 1991). Además, ha sido escenario de grandes terremotos en el pasado, como fueron los sismos de 1842 y 1946 (Delanoy, 1995), lo que evidencia su alto potencial sísmico.

Debido a que la generación de sismos es un proceso permanente y continuo, es de esperarse la ocurrencia de nuevos terremotos, en tanto que las grandes concentraciones poblacionales en las principales ciudades del país han contribuido con el aumento de la vulnerabilidad ante estos eventos. El aumento de la construcción de edificaciones en lugares riesgosos, sumado a la carencia de regulaciones eficientes para las edificaciones y para el uso del suelo ha conllevado a un alto nivel del riesgo sísmico en el país (Polanco, 2012) .

Esta investigación tiene como finalidad fundamental analizar el comportamiento de las ondas sísmicas en cuanto a su propagación y atenuación en el subsuelo de la República Dominicana, a partir del análisis de los registros obtenidos con la Red Sísmica Nacional durante el periodo comprendido entre 2010 y 2020 se identifica la atenuación espacialmente y se elaboran mapas para todo el país.

El desarrollo de esta investigación busca relacionar el comportamiento de las ondas sísmicas con las características y heterogeneidades de la corteza y su efecto de amplificación del subsuelo, y persigue obtener las informaciones sobre la atenuación del subsuelo, necesaria para que los planificadores urbanos y económicos, los ingenieros, los tomadores de decisiones y las instituciones de respuesta ante riesgo de desastres implementen las medidas para garantizar el desarrollo sostenible que demanda la sociedad actual.

En este estudio se determinará la atenuación dependiente de la frecuencia que llamaremos  $Z$ , la cual dependerá del decaimiento de la onda sísmica secundaria ( $S$ ). Esta nos dirá qué tanto se atenúa la onda sísmica desde el epicentro del evento hasta el lugar geográfico de la estación sísmica. Estos valores serán tomados en un rango de frecuencia de 0 a 10Hz. Con ellos se hará un análisis espacial de la atenuación de las ondas sísmicas para cada una de las provincias de la República Dominicana.

## **Metodología**

La metodología empleada para realizar este estudio consistió en tomar una serie de eventos sísmicos de una base de datos, explorarlos, modelarlos, interpolarlos y mapearlos con un *software* de sistema de información geográfica.

La variable a evaluar es la atenuación de la onda sísmica, la cual se obtiene, evidenciando la disminución de la amplitud de la onda sísmica a través de un factor de calidad, denominado  $Q$ .

## **Obtención de los datos**

Para obtener los datos se seleccionó una muestra de 10,248 eventos sísmicos de la base de datos del Centro Nacional de Sismología (CNS) de la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD), en la que los principales campos son los siguientes: fecha y hora de ocurrencia del evento sísmico, latitud, longitud, profundidad en kilómetros, error residual medio de las llegadas de las ondas sísmicas a las estaciones sismológicas y la magnitud, como el fragmento que se muestra en la Tabla 1.

La ventana de tiempo seleccionada se extiende desde el 1 de enero de 2010 hasta el 31 de diciembre de 2020, con todos los eventos sísmicos registrados en las coordenadas 17.0 a 20.2 latitud norte y -72.2 a -68.0 longitud oeste, como se muestra en la Figura 1.

La atenuación de las ondas sísmicas, descrita habitualmente por el parámetro adimensional  $Q$ , llamado ‘factor de calidad específico’, expresa la disminución de la amplitud de onda que ocurre cuando una onda se propaga a través de medios reales (Ambeh & Fairhead, 1989). El factor de calidad  $Q(f)$  se obtiene mediante la siguiente ecuación (McNamara, et al., 2012):

$$Q(f) = Q_0 (f/f_0)^\eta$$

Ecuación 1

Donde  $Q(f)$  se expresa en función de una frecuencia de referencia  $f_0$ , generalmente 1Hz.  $Q_0$  es el valor de  $Q$  a esa frecuencia de referencia; y  $\eta$  es una constante frente a todas las frecuencias consideradas, la cual depende de la relación de velocidad de la onda sísmica primaria y la secundaria.

De acuerdo con el modelo de retrodispersión simple (Aki & Chouet, 1975),  $Q$  se estima a partir del decaimiento de amplitud de las ondas sísmicas.

En nuestro caso, para obtener los valores de  $Q$  se usó el programa informático CODAQ, el cual está bajo la plataforma SEISAN, un programa especializado para la localización y análisis de eventos sísmicos desarrollado por el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Bergen de Noruega y por el Servicio Geológico de Dinamarca y Groenlandia (Ottemoller, Voss & Havskov, 2020).

El programa calcula el factor  $Q$  para una serie de eventos y estaciones a frecuencias determinadas.

Las frecuencias seleccionadas son 1, 3, 5, 7 y 9Hz, cada una con un ancho de banda de 2Hz, es decir  $1 \pm 1\text{Hz}$ ,  $3 \pm 1\text{Hz}$ ... Esto garantiza la obtención de información en un espectro que va desde 0 hasta 10Hz.

## Exploración de los datos

Al trabajar con datos espaciales es necesario observar una serie de implicaciones que han de considerarse con detenimiento antes de llevar a cabo análisis complejos. Conocer en profundidad el dato espacial es, por tanto, imprescindible, no solo en lo relativo a su forma, su manejo, sino también en lo referente a su análisis y cómo ha de tratarse e interpretarse la información que contiene (Ojeda y Tovar, 2016).

Al hacer un análisis espacial es recomendable comprender los supuestos de la autocorrelación y modelización espacial. Las pruebas y gráficos requieren interpretación; al realizarlas, varios supuestos se dan por satisfechos. En tal sentido, también se requiere conocer tanto los datos como los supuestos.

Los supuestos básicos que deben cumplir las observaciones son **normalidad** y **homocedasticidad**. La evaluación de normalidad es un requisito estricto al evaluar la autocorrelación espacial y al realizar modelización espacial. Esta comprobación determina qué tanto se acerca la distribución de los datos al modelo de la distribución normal. La mayoría de modelos estocásticos asume que las observaciones se aproximan a una media y que se sitúan en torno a ella de forma

aleatoria, siguiendo dicha distribución. Si este supuesto no se cumple, las técnicas de modelización pierden potencia o podrían arrojar relaciones erróneas. Por otra parte, la homocedasticidad aplicada al análisis espacial asume que la media y la varianza son constantes en el espacio, es decir, se asume que no existe tendencia en los datos, y que la dispersión es invariable en las distintas localidades del conjunto de datos. No es un requisito estricto al evaluar autocorrelación, pero sí debe considerarse o atenuarse al realizar modelizaciones. La normalidad se evalúa comúnmente con la gráfica cuantilar normal, así como con pruebas estadísticas (Martínez, 2019).

En este estudio se tomaron en cuenta estos supuestos para hacer el análisis espacial.

## **Exploración estadística a los datos**

Para el análisis estadístico se usó el *software* RStudio, que es bastante robusto para este tipo de análisis. Aquí se buscó identificar los máximos, mínimos, cuartiles y media de los datos obtenidos para cada una de las frecuencias (Tabla 2).

## **Prueba de Shapiro Wilks**

Se aplicó la prueba de Shapiro Wilks, que es uno de los estadísticos empleados para determinar normalidad en datos de análisis espacial. Este se fundamenta estadísticamente en una gráfica de probabilidad, en la que se considera la regresión de las observaciones sobre los valores esperados de la distribución hipotetizada, donde su estadístico  $W$  representa el cociente de dos estimaciones de la varianza de una distribución normal (Pedrosa, 2015).

El test de Shapiro-Wilks plantea la hipótesis nula de que una muestra proviene de una distribución normal. Elegimos un nivel de significancia (*P valor*), el cual normalmente es 0,05 y tenemos una hipótesis alternativa que sostiene que la distribución no es normal.

En ocasiones se suele hacer una transformación a los datos para ver si se ajustan mejor a la normalidad, que considerándolos lineales (Martínez, 2019). En nuestro caso, además de hacer las corridas con los datos lineales ( $Z_n$ ), también se aplicó una transformación logarítmica, esta nueva variable es llamada  $Z_n\text{Log}$  (atenuación normalizada logarítmica). El cálculo se hizo con el programa RStudio, mediante las sentencias `shapiro.test(x)` y `shapiro.test(log(x))`.

## Pruebas gráficas

Las pruebas gráficas son imágenes que reflejan los datos, los cuales hay que interpretar, estas nos indican qué tan dispersos pueden estar los datos, entre ellas tenemos los histogramas, los cuartiles, diagramas de cajas, entre otras. Para los fines de este artículo, solo usaremos el histograma, una prueba gráfica en forma de barras con la que se puede representar variables, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados. Este tipo de prueba permite tener una visión general de la distribución de los datos (Martínez, 2019).

## Modelización de los datos

Al predecir y simular fenómenos espacialmente continuos es necesario modelar el comportamiento del movimiento de

los datos (Martínez, 2019). Una forma común de hacerlo es viendo la variabilidad del dato al interpolarlo con sus vecinos. Algunos interpoladores, como el kriging, utilizan un modelo para ponderar las observaciones cercanas, denominado variograma o semivariograma.

El variograma es el gráfico de representación de estimaciones de la semivarianza ( $\gamma$ ); mide el grado de dependencia espacial entre muestras. En la medida en que aumenta la distancia entre pares de observaciones, se asume que la semivarianza aumenta igualmente. Observaciones cercanas obtendrán semivarianzas pequeñas, puesto que, si existe autocorrelación espacial, observaciones cercanas serán muy parecidas (Martínez, 2019), en tanto que observaciones lejanas tendrán semivarianzas grandes.

Se utilizan distintos variogramas teóricos, siendo los más comunes el exponencial, el esférico y el gaussiano. En las imágenes de la 8 a la 12 se presentan los variogramas de las diferentes frecuencias en estudio.

## Interpolación de los datos

En ciertos casos el usuario conoce el valor de una función  $f(x)$  en una serie de puntos  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , pero no se conoce una expresión analítica de  $f(x)$  que permita calcular el valor de la función para un punto arbitrario.

La idea de la interpolación es poder estimar  $f(x)$  para un  $x$  arbitrario, a partir de la construcción de una curva o superficie que une los puntos donde se han realizado las mediciones y cuyo valor si se conoce. Se asume que el punto arbitrario  $x$  se encuentra dentro de los límites de los puntos de medición.

Se plantea que a partir de  $n$  parejas de puntos  $(x_k, y_k)$ , se pueda obtener una función  $f$  que verifique que:  $f(x_k)=y_k$ .

La interpolación consiste en hallar un dato dentro de un intervalo en el que conocemos los valores en los extremos. También, puede ser que tengamos varios puntos y queremos hallar el valor entre estos.

Existen varios métodos de interpolación. En nuestro caso, solo abordaremos el interpolador kriging, por ser este uno de los más comunes y usados en el análisis espacial en los sistemas de información geográfica.

El kriging es una técnica de interpolación que está basada en modelos estadísticos que incluye la autocorrelación, es decir, las relaciones estadísticas entre los puntos medidos y el variograma para medir la autocorrelación espacial (Esri, s. f.). Además, asume linealidad e insegadez y minimiza el error cuadrático a través del método de Lagrange (Brea, 2013).

Según las literaturas consultadas, debemos considerar que para obtener resultados aceptables usando el interpolador kriging, los datos tienen que presentar normalidad, y puesto que al hacer el análisis exploratorio hemos visto que los datos que más se acercan a la normalidad son los que hemos transformado logarítmicamente, se usaron estos para la interpolación. En tanto que, en la modelización, los variogramas nos indican que los datos se ajustan más a una curva exponencial, por lo que se empleó un semivariograma exponencial.

Los datos estaban en coordenadas geográficas, por lo que fue necesario llevarlos a coordenadas métricas para una mejor interpretación del espacio muestreado y tener una mejor familiaridad con las unidades de medidas. Se empleó una

celda de 30x30m, por considerarla suficiente para distinguir diferencias en el espacio a analizar y garantizar un procesado relativamente rápido de los datos. Se utilizaron los 12 puntos más cercanos para interpolar y conseguir la información en los lugares donde no la hay.

Para hacer la clasificación se tomaron cinco (5) clases a iguales intervalos de datos. En tal sentido, contamos con cinco quintiles, el que contiene los valores más bajos se considera como la atenuación más baja y a valores más altos, mayor atenuación. Se tomó una paleta de colores que va de amarillo a rojo, el amarillo para los colores bajos y según aumenta la atenuación, aumenta la tonalidad, hasta llegar a rojo, correspondiéndose a la más alta atenuación. La asignación de los colores corresponde a la librería de ArcGis 10.3 y está definida como se muestra en la Tabla 4. Asimismo, en la Tabla 5 se presenta los diferentes niveles de atenuación para cada una de las frecuencias.

## **Mapas elaborados con los datos**

En las imágenes de la 13 a la 17 se presentan los mapas obtenidos a partir de los datos para todo el país para la atenuación de las ondas sísmicas de las diferentes frecuencias en estudio, con una escala de 1:1,800,000, esto indica que una porción de un centímetro vista en el mapa, equivale a un millón ochocientos mil centímetros medidos en tierra, es decir, en el área de estudio de esta investigación.

## Resultados

### Distribución espacial

En el mapa de sismicidad 2010-2020 (Figura 1) se puede visualizar que la nube de puntos o eventos sísmicos seleccionados entre las coordenadas escogidas cubre por completo la República Dominicana y los alrededores que pudieran aportar sismos que generen ondas con amplitudes suficientes para producir perturbaciones significativas en el suelo del país. De igual manera, la cantidad de datos obtenidos para las frecuencias en estudio están distribuidos en todo el territorio dominicano y sus alrededores, lo que garantiza información de atenuación en todas las provincias.

### Prueba estadística

El estadístico ( $W$ ), como se puede apreciar en la Tabla 3, presenta una excelente confianza para todas las frecuencias en la variable transformada ( $Z_n \text{Log}$ ), aunque no así para la variable no transformada ( $Z_n$ ). En ambos casos, el nivel de significancia ( $p$ ) es muy bajo, lo que nos indica que, aunque los datos tienen una buena distribución, estos no siguen una distribución completamente normal.

### Pruebas gráficas

En las imágenes de la 2 a la 6, en los histogramas de las primeras frecuencias, 1 a 5Hz, se puede ver que los datos transformados presentan bastante normalidad, no así para la variable original, ya que estos presentan un sesgo a la derecha de la media. Para las frecuencias mayores a 5Hz, el sesgo va aumentando para ambas variables.

## Modelización

Observando los variogramas de las figuras de la 8 a la 12, estos nos indican que los datos se ajustan más a una curva exponencial que a los otros dos modelos empleados, también se nota que a medida que aumenta la frecuencia los datos se alejan de la curva del modelo, lo que nos indica que va perdiendo la normalidad.

## Mapas obtenidos fruto de la interpolación

En este artículo solo se presentan los cinco mapas para los cinco rangos de frecuencias empleados para toda la República Dominicana, en tanto que en la tesis “Análisis Espacial de la Atenuación de las Ondas Sísmicas en República Dominicana” (Moreta, 2022) se encuentran los mapas individualizados para todas las provincias del país, así como para el Distrito Nacional.

### *Mapa de atenuación de ondas sísmicas para frecuencia de 1Hz*

Las ondas sísmicas presentan una atenuación con una importante variabilidad para todo el país. Las provincias que presentan la atenuación más alta son: Pedernales (esta no fue muestreada en su totalidad por insuficiencia de datos en su parte sur) y San Cristóbal; las que presentaron la atenuación más baja fueron Dajabón, Distrito Nacional, Espaillat, Hermanas Mirabal, Monte Cristi y Puerto Plata. Para una mejor comprensión, véase el mapa en la Figura 13.

*Mapa de atenuación de ondas sísmicas para frecuencia de 3Hz*

En el mapa (Figura 14) correspondiente a la frecuencia de 3Hz, podemos ver que el país sigue presentando una variación importante de la atenuación de las ondas sísmicas para esta frecuencia. Las provincias que presentan mayor área de alta atenuación son Barahona y Pedernales, mientras que la mayor parte de las demás provincias no presentaron áreas afectadas por alta atenuación a esta frecuencia.

*Mapa de atenuación de ondas sísmicas para frecuencia de 5Hz*

En este mapa (Figura 15) podemos observar que la parte este del país presenta baja y medio baja atenuación, en tanto que el sur y la parte norte siguen presentando importantes concentraciones de alta y medio alta atención de las ondas sísmicas. Solo la provincia Barahona tiene la mayor parte de su área con una alta atenuación; la mayoría de las demás provincias registran baja o medio baja atenuación.

*Mapa de atenuación de ondas sísmicas para frecuencia de 7Hz*

Siguiendo la Figura 16 en el mapa podemos ver que solo las provincias del suroeste del país tienen la mayor parte de su área con una alta atenuación, mientras que la mayoría de las provincias registran baja o medio baja atenuación.

*Mapa de atenuación de ondas sísmicas para frecuencia de 9Hz*

En este mapa (Figura 17) podemos observar que solo la provincia Barahona tiene la mayor parte de su área con una

alta atenuación, seguida de Independencia y Pedernales; la mayoría del resto de las provincias registran desde moderada hasta baja atenuación al paso de las ondas producidas por terremotos.

## Conclusiones

En este análisis espacial de la atenuación de las ondas sísmicas en la República Dominicana se pudo observar gráficamente que, en términos generales, los datos empleados tienen una distribución homogénea geográficamente para todo el país en cada una de las frecuencias empleadas, con excepción de algunas provincias en las que se notó ciertas deficiencias de estos y en otras pocas, algunas aglomeraciones.

Para el análisis estadístico se hizo una transformación logarítmica a los datos, resultando esta con mayor normalidad que los datos originales en todas las pruebas, por lo que esta variable fue la empleada para todo el trabajo final, el peso ( $W$ ) de los datos resultó bastante significativo ( $> 93$ ), mientras que el estadístico ( $P$  valor) presentó valores muy bajos, en relación con el número de referencia (0.05). Asimismo, en las pruebas gráficas se evidenció que para las frecuencias más bajas los datos tienen más normalidad, es decir, que a medida que aumenta la frecuencia los datos tienden a ser menos normales estadísticamente. Los datos se modelaron con tres variogramas: esférico, exponencial y gaussiano, presentando el exponencial mejor ajuste a los datos. El interpolador empleado fue el kriging por ser este uno de los más empleados en este tipo de análisis, ya que presenta parámetros de ajuste y de corrección.

En los mapas resultantes se observó que para las primeras frecuencias (0 a 2Hz) la atenuación de las ondas sísmicas presenta una importante variabilidad para todo el país; solo una provincia presentó más del 50 % de su territorio con alta atenuación, seis presentaron alrededor de un 20 % y la gran mayoría menos de 15 %; y seis de estas, 0 %.

Para las frecuencias de 2 a 4Hz, el país sigue presentando una importante variabilidad de atenuación, en tanto que solo diez provincias presentaron repuesta a la alta atenuación, una de ellas alrededor del 50 %, cinco entre 23 % y 14 %; y las otras cuatro, menos de 10 %.

De 4 a 6Hz, para la parte este del país se evidencia baja y medio baja atenuación; mientras que el sur y la parte norte siguen presentando importantes áreas de alta y medio alta atenuación al paso de las ondas sísmicas. Sólo se observó alta atenuación en siete provincias, en una de ellas algo más del 50 % de su territorio, cinco entre 35 % y 16 % y 1 % en otra.

En las frecuencias de 6 a 8Hz se observó que sólo las provincias del suroeste del país tienen mayor parte de sus áreas con alta atenuación, en tanto que la mayoría de las provincias de las demás regiones presentaron baja o medio baja atenuación; nueve provincias presentaron alta atenuación a las ondas sísmicas, tres de ellas 75 % o más; cuatro, entre 27 % y 14 %; y dos, un 1 %.

Para el último rango de frecuencias estudiado, 8 a 10Hz, se notó que la República Dominicana no presenta alta atenuación al paso de las ondas sísmica en gran parte de su territorio, ya que solo cinco provincias presentaron alta atenuación, cuatro de ellas en el suroeste con 79, 39, 30 y 4 por ciento, respectivamente, y una en el noreste con apenas un 2 %.

Finalmente, podemos decir que, según los resultados obtenidos, la mayor parte del territorio dominicano presenta baja o medio baja atenuación a las ondas sísmicas para un rango de frecuencia que va de 0 a 10Hz, lo que es lo mismo que para períodos de vibración mayores a 0.10 segundos. Las provincias que presentan mayor nivel de atenuación en su territorio son Barahona y Pedernales; en tanto que el Distrito Nacional y la provincia Santo Domingo presentaron los niveles más bajos de atenuación de las ondas sísmicas.

Esperamos que los resultados obtenidos con esta investigación puedan ser usados en la gestión de riesgo sísmico, ya que el país carece de este tipo de estudio que caracterizan el suelo independientemente de la fuente sísmica.

## **Referencias**

- Aki, K., & Chouet, B. (1975). Origin of coda waves: source, attenuation and scattering effects. *Journal Geophysical Research*, 80, 3322-3342.
- Alperín, M., Borges, V., & Sarandón, R. (2002). Caracterización espacial de los tipos de cobertura de suelo usando técnicas geoestadísticas a partir de información satelital. *Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Plata*, 105 (1).
- Ambegh, W. B., & Fairhead, J. D. (1989). Coda Q estimates in the Mount Cameroon volcanic region, West Africa. *Seismological Society of America*, 79, 1589-1600.
- Bonham-Carter, G. F. (1994). Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS. *Pergamon*, 398.

- Brea, L. M. (2013). "Kriging" y teoría del muestreo. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. [https://www.ucm.es/data/cont/docs/112-2013-10-15-presentacion\\_krigeado\\_130215\\_paraImprimir.pdf](https://www.ucm.es/data/cont/docs/112-2013-10-15-presentacion_krigeado_130215_paraImprimir.pdf).
- Delanoy, R. (1995). *Aspecto de Sismología Dominicana*. Santo Domingo: Impresos Gabi.
- Esri. (s. f.). *Cómo funciona Kriging*. From <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm>
- INCIBE. (2015). *La seguridad desde sus inicios*. España: <https://www.iniseg.es/blog/seguridad/754/>.
- Mann, P. D., Grenville, D., & Lewis, J. F. (1991). Geologic and Tectonic Development of the North America-Caribbean Plate Boundary in Hispaniola. *The Geological Society of American*.
- Martínez, J. R. (2019). *Material de apoyo de la asignatura Análisis Espacial de la maestría en Teledetección y Ciencias Geográficas*. Santo Domingo: Universidad Autónoma de Santo Domingo.
- McNamara, D., Meremonte, M., Maharrey, L., Mildore, S.-L., Altidore, J., Anglade, D., et al. (2012). Frequency-Dependent Seismic S Attenuation within the Hispaniola Island Region of the Caribbean Sea. *Seismological Society of America*, Vol. 102, No. 2.
- Moreta, A. (2022). *Análisis Espacial de la Atenuación de las Ondas Sísmicas en República Dominicana*. Santo Domingo: Universidad Autónoma de Santo Domingo.
- Ojeda, T., & Tovar, L. (2016). El análisis espacial como una herramienta para el estudio del transporte de carga urbano. *XII Congreso de Ingeniería del Transporte*. Universitat Politècnica de València.

Ottmoller, L., Voss, P., & Havskov, J. (2020). Seisan earthquake analysis software for windows, solaris, linux and macosx. *Seismological Research Letters*.

Pedrosa, I. J.-B.-F.-C. (2015). Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿qué estadístico utilizar? *Universitas Psychologica*, 245-254.

Polanco, E. (2012). *Propagación y atenuación de las ondas sísmicas, aceleraciones y fuentes de terremotos en la República Dominicana*. Santo Domingo: Proyecto FONDOCyT.

Wikipedia. (s.f.). *Histograma*. Retrieved 15 de 4 de 2021 from <https://es.wikipedia.org/wiki/Histograma>

## Anexos

### Tablas

**Tabla 1.** Estructura principal de la base de datos del CNS

| Fecha y hora           | Latitud | Longitud | Prof. | RMS  | M   |
|------------------------|---------|----------|-------|------|-----|
| 2018-01-10 22:07:00.10 | 17.971  | -71.321  | 20.7  | 0.50 | 2.8 |
| 2018-01-11 03:13:52.80 | 17.837  | -69.111  | 15    | 0.90 | 3.4 |
| 2018-01-11 18:06:41.30 | 18.988  | -70.199  | 6.9   | 0.40 | 3   |
| 2018-01-12 17:40:25.50 | 19.046  | -70.159  | 12.8  | 0.20 | 2.8 |
| 2018-01-13 15:25:39.10 | 18.633  | -69.804  | 136.9 | 0.80 | 3.1 |
| 2018-01-14 04:07:17.30 | 18.819  | -70.272  | 92.6  | 0.80 | 3.3 |
| 2018-01-14 16:31:11.50 | 19.801  | -70.846  | 11.4  | 0.50 | 3.6 |
| 2018-01-15 01:48:01.60 | 17.445  | -68.138  | 98.3  | 0.70 | 3.3 |
| 2018-01-16 09:07:39.00 | 19.097  | -71.48   | 71.7  | 0.80 | 3   |
| 2018-01-16 10:37:26.00 | 19.131  | -71.411  | 74.2  | 0.80 | 3   |
| 2018-01-16 20:20:03.70 | 19.287  | -73.046  | 31.1  | 0.50 | 3.8 |
| 2018-01-17 09:02:18.30 | 19.333  | -72.994  | 19.9  | 0.70 | 3.4 |
| 2018-01-17 11:39:31.90 | 19.16   | -68.418  | 18.4  | 0.80 | 3.1 |

**Tabla 2.** Estadísticos básicos de los valores de atenuación para todas las frecuencias en estudio

| Frecuencias | Datos | Mínimo    | 1er cuartil | Mediana   | Media     | 3er cuartil | Máximo    |
|-------------|-------|-----------|-------------|-----------|-----------|-------------|-----------|
| 1Hz         | 808   | 0.002377  | 0.007299    | 0.010199  | 0.011000  | 0.013870    | 0.033003  |
| 3Hz         | 2600  | 0.001646  | 0.003407    | 0.004269  | 0.004644  | 0.005552    | 0.014368  |
| 5Hz         | 2601  | 0.001177  | 0.002130    | 0.002710  | 0.003031  | 0.003604    | 0.013405  |
| 7Hz         | 2299  | 0.0009147 | 0.0015738   | 0.0019142 | 0.0022040 | 0.0025141   | 0.0069156 |
| 9Hz         | 1910  | 0.0007126 | 0.0012262   | 0.0014678 | 0.0017057 | 0.0018693   | 0.0052910 |

**Tabla 3.** Estadístico de Shapiro Wilks para los datos de las frecuencias en estudio

| Frecuencias | Zn      |          | ZnLog   |          |
|-------------|---------|----------|---------|----------|
|             | W       | P        | W       | P        |
| 1Hz         | 0.95062 | 8.306-16 | 0.99548 | 0.0181   |
| 3Hz         | 0.92098 | < 2.2-16 | 0.99672 | 2.083-05 |
| 5Hz         | 0.89398 | < 2.2-16 | 0.98326 | < 2.2-16 |
| 7Hz         | 0.84463 | < 2.2-16 | 0.95768 | < 2.2-16 |
| 9Hz         | 0.80041 | < 2.2-16 | 0.93447 | < 2.2-16 |

**Tabla 4.** Colores asignados a las clases

| Colores             | R,G,B     | Atenuación |
|---------------------|-----------|------------|
| Amarillo            | 245,245,0 | Baja       |
| Naranja             | 245,184,0 | Medio Baja |
| Amarillo-anaranjado | 245,122,0 | Moderada   |
| Rojo-anaranjado     | 245,61,0  | Medio Alta |
| Rojo                | 245,0,0   | Alta       |

Tabla 5. Niveles de atenuación para cada una de las clases






| Color   | Nivel      | 1Hz                       | 3Hz                       | 5Hz                       | 7Hz                       | 9Hz                       |
|---|------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|  | Baja       | 0.002377<br>a<br>0.007513 | 0.001646<br>a<br>0.003512 | 0.001177<br>a<br>0.002225 | 0.000915<br>a<br>0.001784 | 0.000713<br>a<br>0.001372 |
|  | Medio Baja | 0.007514<br>a<br>0.010707 | 0.003513<br>a<br>0.004776 | 0.002226<br>a<br>0.002953 | 0.001785<br>a<br>0.002453 | 0.001373<br>a<br>0.001872 |
|  | Moderada   | 0.010708<br>a<br>0.014327 | 0.004777<br>a<br>0.006313 | 0.002954<br>a<br>0.003891 | 0.002454<br>a<br>0.003342 | 0.001873<br>a<br>0.002606 |
|  | Medio Alta | 0.014328<br>a<br>0.019493 | 0.006314<br>a<br>0.008628 | 0.003892<br>a<br>0.005233 | 0.003343<br>a<br>0.004513 | 0.002607<br>a<br>0.003602 |
|  | Alta       | 0.019494<br>a<br>0.033003 | 0.008629<br>a<br>0.014368 | 0.005234<br>a<br>0.013405 | 0.004514<br>a<br>0.006916 | 0.003603<br>a<br>0.005291 |



Figura 3. Histogramas para frecuencia de 3Hz

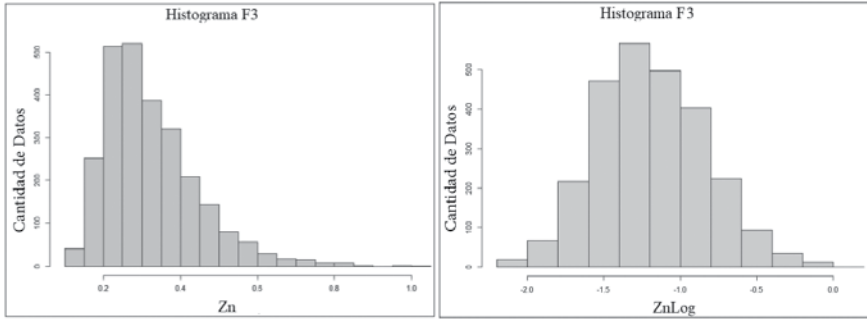


Figura 4. Histogramas para frecuencia de 5Hz

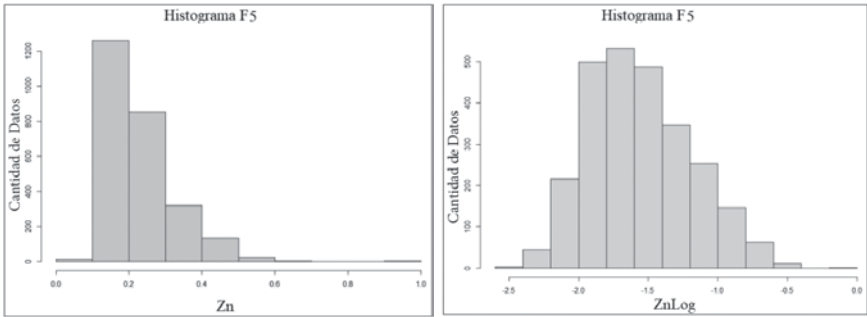


Figura 5. Histogramas para frecuencia de 7Hz

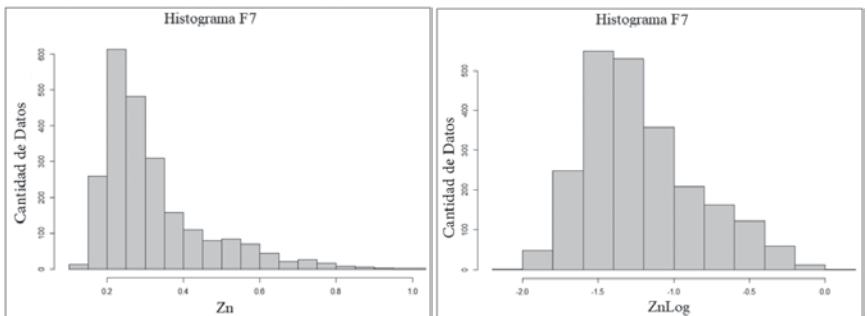


Figura 6. Histogramas para frecuencia de 9Hz

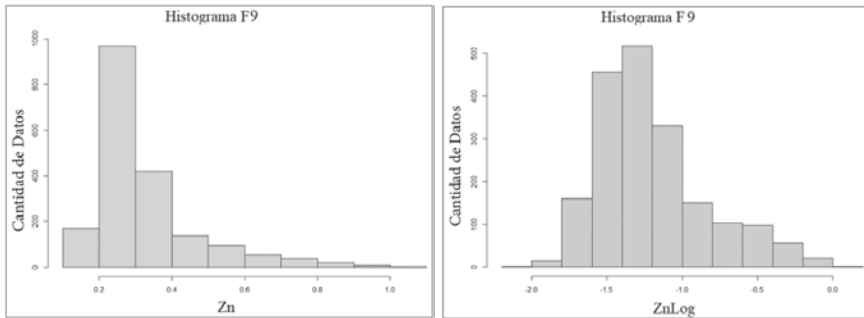


Figura 7. Variogramas exponencial y esférico. Tomado de Alperín, Borges & Sarandón, 2002

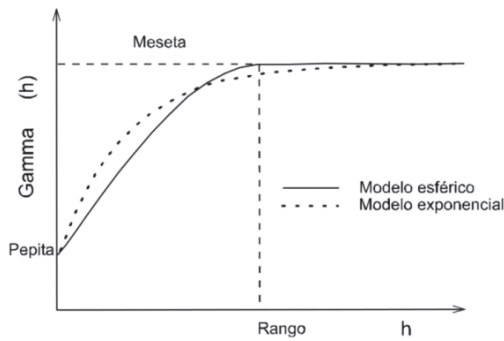


Figura 8. Variogramas para datos de frecuencia a 1Hz

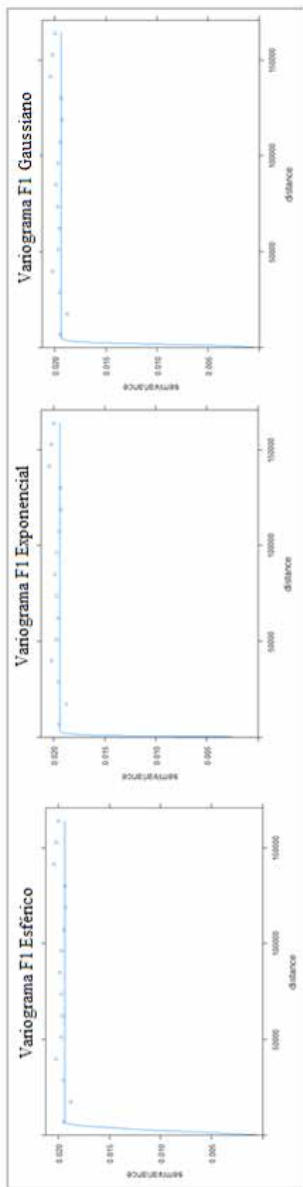


Figura 9. Variogramas para datos de frecuencia a 3Hz

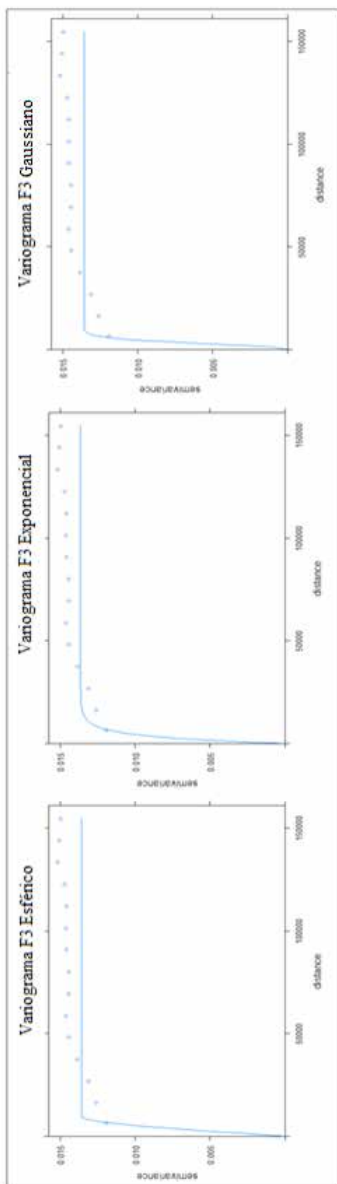


Figura 10. Variogramas para datos de frecuencia a 5Hz

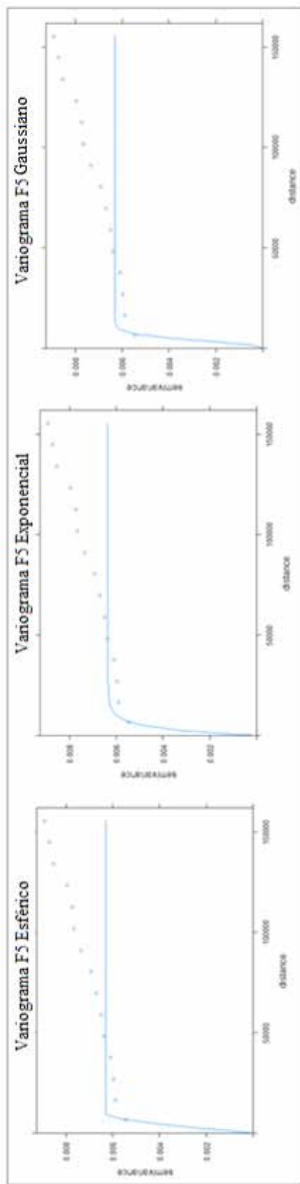


Figura 11. Variogramas para datos de frecuencia a 7Hz

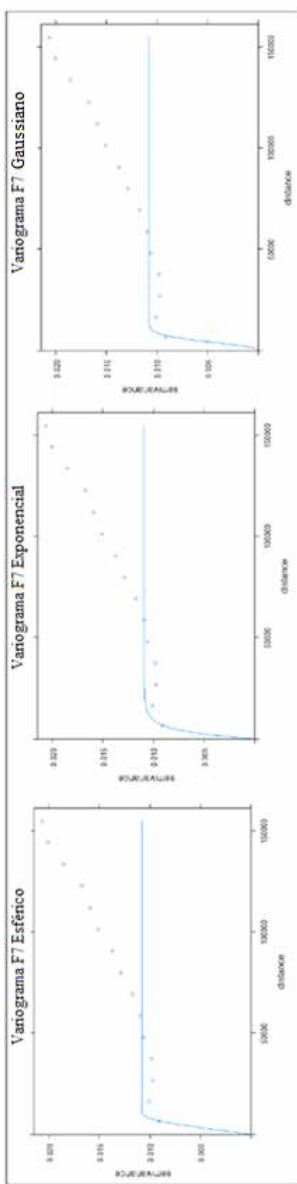


Figura 12. Variogramas para datos de frecuencia a 9Hz

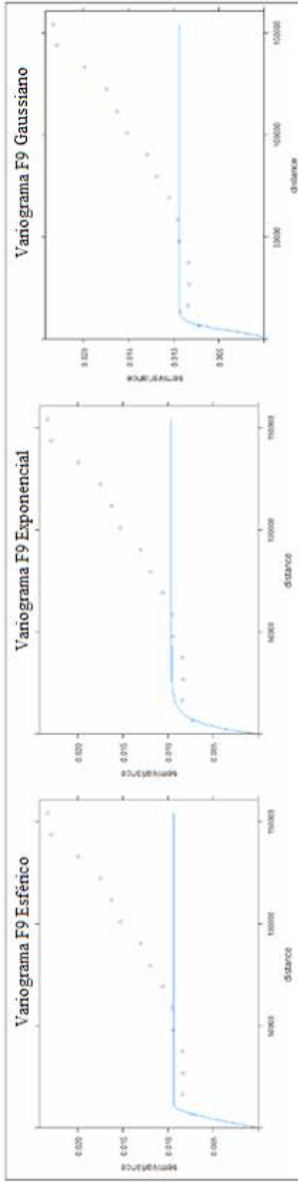


Figura 13. Mapa de atenuación de ondas sísmicas para frecuencia de 1Hz

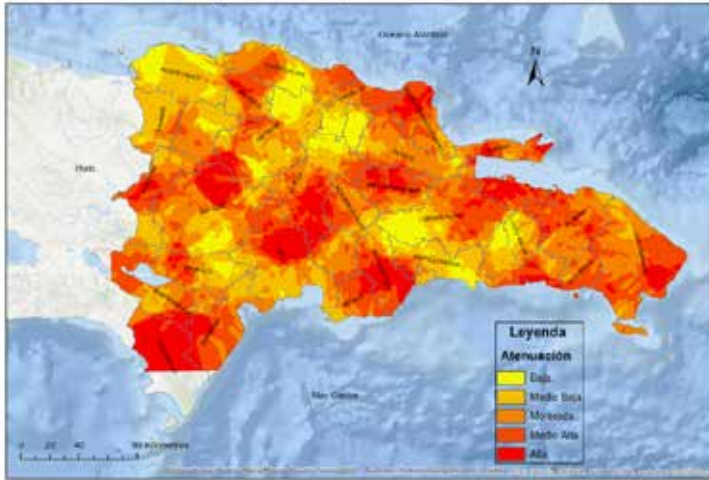


Figura 14. Mapa de atenuación de ondas sísmicas para frecuencia de 3Hz

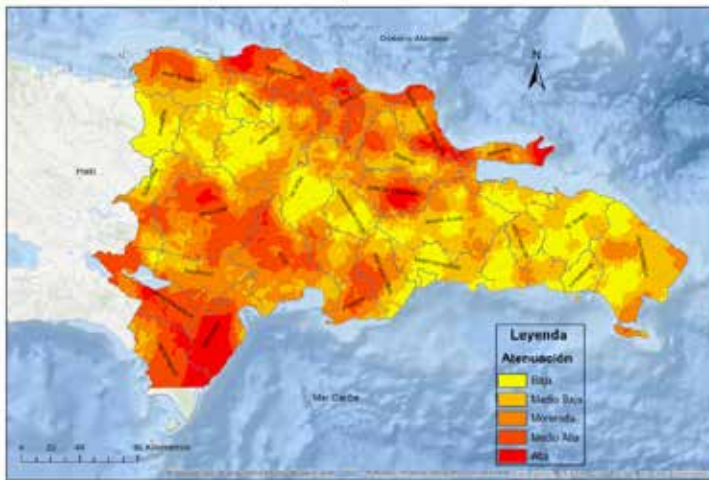


Figura 15. Mapa de atenuación de ondas sísmicas para frecuencia de 5Hz

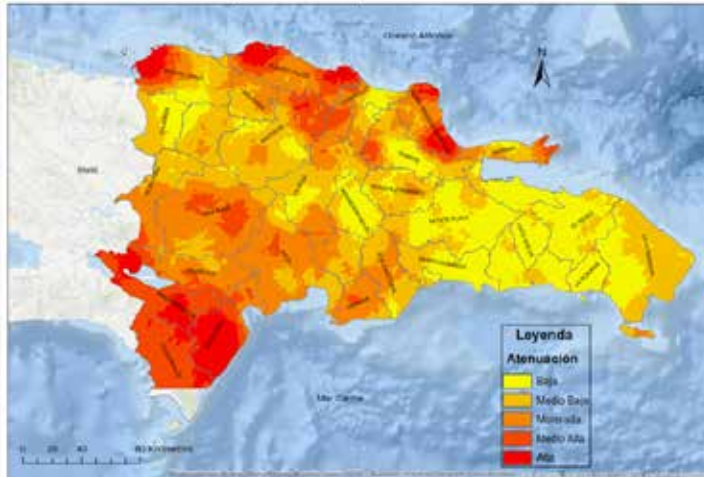


Figura 16. Mapa de atenuación de ondas sísmicas para frecuencia de 7Hz

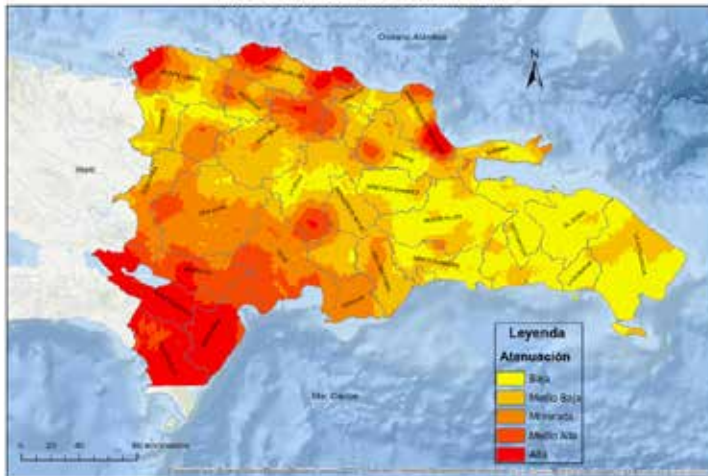
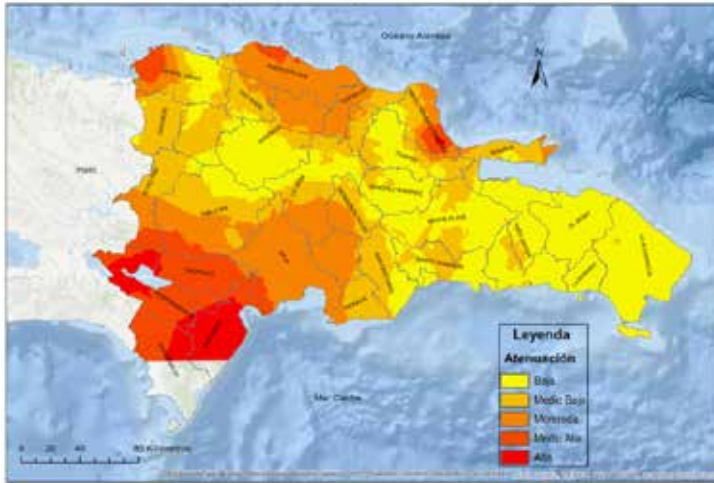


Figura 17. Mapa de atenuación de ondas sísmicas para frecuencia de 9Hz





# **Assessing burned areas of tropical humid and coniferous forests of the Dominican Republic using MODIS**

## **Pan American Institute of Geography and History Dominican Republic National Section**

MARTIN RAPILLY<sup>1</sup>, EDWIN MEDINA AND EMMA DILONÉ  
INSTITUTO GEOGRÁFICO UNIVERSITARIO,  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SANTO DOMINGO

MAY 14, 2024

### **Abstract**

This research estimates burned areas of tropical broad-leaf and coniferous forests in the Dominican Republic between 2000 and 2020, using optical remote sensing. The methodology implemented was based on a statistical analysis to identify the best spectral indices and ratios that enable the detection of burned areas in our dataset. The dataset is mainly composed of 936 MODIS images at 500m spatial resolution over nine protected areas located in the Dominican Republic. Three spectral indices were identified and 125 iterations were applied with different threshold values on an area of reference to obtain the best parameters. The retained parameters gave an overall

---

<sup>1</sup> mrapilly60@uasd.edu.do, calle Las Damas esq. El Conde, Santo Domingo, Dominican Republic

accuracy and errors of omission and commission of 0.954, 0.1 and 0.21 respectively. For comparison, the global product MCD64A1 C6 (MODIS Burned Area Product - collection 6), evaluated on the same area of reference, gave values of 0.949, 0.08 and 0.247 respectively. The results of the applied algorithm were analyzed to extract spatial and temporal patterns, with an estimated burned area of 1431 km<sup>2</sup> during 2000-2020 located mainly in three national parks. The burned areas, which cover an average of 68.1 km<sup>2</sup> per year, were particularly extended during the years 2005 (296 km<sup>2</sup>), 2001 (101 km<sup>2</sup>) and 2014 (113 km<sup>2</sup>); they occur in particular during the dry season with a peak recorded during the end of march (158 km<sup>2</sup> recorded over 21 years for this specific date).

**Keywords:** remote sensing; MODIS; burned area; forest fire; Dominican Republic.

## 1. Introduction

### 1.1 Context

Forestry resources represent a great asset for the Dominican Republic, from an environmental, social and economic perspective. Forests in the Dominican Republic are also crucial for the Caribbean, as they are part of biological corridors that connects the species of the Greater Antilles. These resources are also important for water flow regulation in drainage basins as well as for the carbon dioxide absorption with 1,860 million tons accumulated in the Dominican forests according to the Ministry of the Environment and

Natural Resources of the Dominican Republic (MMARN)<sup>2</sup>. From an economic point of view, according to the same Ministry, forests are an important source of income related to wood production with 800,000 m<sup>3</sup> produced every year in the Dominican Republic<sup>3</sup>. Moreover, they are an important element of the country's sustainable tourism offer which is a sector of great economic importance with one and a half million tourists visiting the protected areas every year<sup>4</sup>. However, these resources are particularly exposed and vulnerable to the agricultural and industrial activities in the country. This pressure translates into a forest land cover of 37.65%<sup>5</sup> despite having 60.5% of the national territory characterized by a forestry vocation due to the type of soil and slope<sup>6</sup>. The pressure on the forest generates a large number of forest fires every year with a total of 5,029 fires in the period

---

<sup>2</sup>Solange De la Cruz Matos, "Bosques del país almacena mucho carbono," April 2018, <https://listindiario.com/economia/2018/04/25/512105/bosques-del-pais-almacenan-mucho-carbono>.

<sup>3</sup> Mayelin Acosta, "Bosques RD producen 800 mil metros cúbicos de madera anual," [Online; accessed 19-oct-2020], December 2015.

<sup>4</sup> Yaniris López, "¿Se hace turismo sostenible en República Dominicana?," September 2017, <https://listindiario.com/lavida/2017/09/27/484046/se-hace-turismo-sostenible-en-republica-dominicana>.

<sup>5</sup> Ministerio de Medio Ambiente y RRNN, "Inventario Nacional Forestal de la República Dominicana," *Programa Regional Reducción de Emisiones de la Deforestación y Degradación de Bosques en Centroamérica y República Dominicana*, 2021,

<sup>6</sup> Ministerio de Medio Ambiente y RRNN, *Atlas de Biodiversidad y Recursos Naturales de la República Dominicana* (2012)

1972-2018 and a record of 435 fires in year 2015 alone<sup>7</sup>. This pressure could be related to various patterns of agricultural and cultural production established in Dominican society; according to the National Fire Management Strategy report for the Dominican Republic<sup>8</sup>, the main threats are “subsistence farming, [...], the renovation of pastures, arsonists in conflicts [...], accidental [...], users of the forest [...], electric shocks [...]”. Within the category of forest users, we can highlight the production of charcoal, which represents 2,011 hectares of forest lost to produce 97,425 forty-pound bags of charcoal every year”<sup>9</sup>. In this context, it is important that the country’s national and local authorities have access to accurate information on the location and timing of forest fire to develop effective prevention and mitigation policies. However, the current analysis of time frequency and spatial distribution of forest fires is difficult due to the lack of an exhaustive inventory of fires at the national level. This situation is related in particular to the data collection methodology that mainly consists of on-the-field data collection which can be very difficult on dense forests located on steep terrain. This situation has probably led to an underestimation of the number and total area of forestry fires. In this

---

<sup>7</sup> Oficina Nacional de Estadísticas, *Ocurrencia de incendios forestales 1972-2018 (2019)*, <https://www.one.gob.do/Multimedia/Download?ObjId=87643>

<sup>8</sup> Ministerio de Medio Ambiente y RRNN, *Estrategia Nacional de Manejo del Fuego para República Dominicana*, technical report (2016), pag.24

<sup>9</sup> Ministerio de Medio Ambiente y RRNN, *Quinto Informe Nacional de Biodiversidad de la República Dominicana (2014)*.

context, remote sensing offers the opportunity to obtain reliable data on the location and date of the fires from satellite data collected frequently across the country and over an extended period of time, thanks to the processing of spectral bands to identify burned areas. The analysis and inventory of forestry fires based on burned area indices and ratios began mainly with the processing of images from the Thematic Mapper sensor of the Landsat 5 satellite, launched in 1984. These indices allow the identification of burned areas based on the reflectance captured in the near infrared and short-wave infrared bands and were applied in numerous scientific studies, for example by Cáceres in Honduras<sup>10</sup>, Chuvieco in the Mediterranean sea basin<sup>11</sup> and Levin & Heimovitz in Israel<sup>12</sup>. This allows for detection of burned areas in remote places such as mountainous lands and dense forests. In the Dominican Republic, available burned areas data come from global products produced by NASA such as MCD64A1 C6<sup>13</sup>

---

<sup>10</sup> Claudia Cáceres, “Using GIS in Hotspots Analysis and for Forest Fire Risk Zones Mapping in the Yeguaré Region, Southeastern Honduras” (PhD diss., August 2011), <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18838.55369>.

<sup>11</sup> Emilio Chuvieco, *Remote sensing of large wildfires: in the European Mediterranean Basin* (Springer Science & Business Media, 2012)

<sup>12</sup> Noam Levin and Aliza Heimowitz, “Mapping spatial and temporal patterns of Mediterranean wildfires from MODIS,” *Remote Sensing of Environment* 126 (2012): 12–26

<sup>13</sup> Louis Giglio et al., “The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product,” *Remote sensing of environment* 217 (2018): 72–85.

available since 2001 at 500 m resolution and Copernicus PROBA-V Burnt Area<sup>14</sup> available since 2014 at 300 m resolution. The first offers a monthly inventory of burned areas and the second a 10 days inventory. However, to our knowledge the accuracy of these products has not been evaluated in the country until now.

## **1.2 Objectives**

This research proposes to develop and apply an algorithm for the identification of burned areas adapted to the environmental context of the Dominican Republic using a set of MODIS images. This methodology is applied with the goal of evaluating the spatial and temporal distribution of the burned areas in the country's largest humid broadleaf and coniferous forests for the 2000-2020 period. More specifically, this research aims to:

1. Identify valid spectral indices and ratios for the location of burned areas on our area of interest
2. Identify the best thresholds for those indices and ratio in order to extract burned areas from MODIS imagery on our area of interest
3. Validate the accuracy of the product obtained in this research and compare it with the global product MC-D64A1 C6
4. Identify and analyze the inter-annual and intra-annual spatial and temporal patterns of the burned areas in the period 2000-2020 for our area of interest.

---

<sup>14</sup> Kevin Tansey et al., "A new, global, multi-annual (2000–2007) burnt area product at 1 km resolution," *Geophysical Research Letters* 35, no. 1 (2008)

## 2. Materials and Methods

### 2.1 Area of interest

The area of interest corresponds to the nine largest terrestrial protected areas in the Dominican Republic characterized by homogeneous vegetation dominated by humid broadleaf and coniferous forests typical of mountainous areas that receive high rainfall, from 1,200 to 2,400 mm/year. This vegetation is particularly found in the protected areas of Armando Bermúdez (where it covers 785.7 km<sup>2</sup>), José del Carmen Ramírez (547.1 km<sup>2</sup>), Valle Nuevo (676.6 km<sup>2</sup>), Sierra de Neiba (91 km<sup>2</sup>), Sierra de Bahoruco (584.2 km<sup>2</sup>), Nalga de Maco (75.8 km<sup>2</sup>), Montaña la Humeadora (215.1 km<sup>2</sup>), Alto Mao (102.3 km<sup>2</sup>) and Manolo Tavárez Justo (222.3 km<sup>2</sup>) (Figure 1). All these protected areas are categorized as National Parks by the MMARN, with the exception of the Alto Mao area, identified as a Forest Reserve. In these protected areas, the analysis was limited to places characterized by a vegetation of moist broadleaf forest, cloudy broadleaf forest, dense coniferous forest and scattered coniferous forest extracted from a landcover analysis carried out by the Ministry of Environment and Natural Resources of the Dominican Republic in 2003. In total, the area of interest covers 3,301 km<sup>2</sup>.

### 2.2 Data

The analysis was based on four satellite data sets downloaded via NASA's earthdata website (<https://search.earthdata.nasa.gov/search>):

1. A set of 6 multispectral level 1 images from the Landsat 8 mission over the period June - August 2014. These images have eight spectral bands over the visible and infrared parts of the spectrum with a spatial resolution of 30 meters and a panchromatic band at 15 meters that come from the Operational Land Imager (OLI) sensor<sup>15</sup>.
2. A set of 936 multispectral images from the MODIS sensor carried by the TERRA satellite (MOD09A1), corresponding to the period February 2000 - July 2020. These images have seven bands at 500 meters of spatial resolution that cover the visible and infrared parts of the spectrum (Table 1). The images are composites created from all the data detected on the same area over a period of eight days. According to the description of Vermote et al.<sup>16</sup>, these bands were corrected for atmospheric scattering and absorption effects to obtain surface reflectance values, and each pixel corresponds to the best value that could be captured over eight days in terms of absence of cloud and of cloud shadow, small angle of incidence and absence of aerosols. The files also contain metadata about the images and in particular two image quality evaluation files (Reflectance Band Quality and “Reflectance Pixel State”) which could be useful to

---

<sup>15</sup> United States Geological Survey, *Landsat 8 (L8) data users handbook* (2019)

<sup>16</sup> EF Vermote, SY Kotchenova, and JP Ray, “MODIS surface reflectance user’s guide,” MODIS Land Surface Reflectance Science Computing Facility, version 1 (2011)

identify pixels that do not contain relevant information for our analysis (i.e. pixels containing clouds that could not be removed in the composite images over 8 days). To carry out the study on the Dominican Republic, we used images from the H11V07 tile which covers almost the whole Hispaniola Island and a large portion of the Caribbean Sea and northern South America.

3. Four MCD64A1 images Collection 6 MODIS Burned Area Product) over the period May-August 2014. These images present burned areas detected on MODIS images processed according to the methodology of Giglio et al.<sup>17</sup>
4. Two vector files containing calculated thermal hot spots based on the MODIS sensor, from the MODIS C6 Active Fire products collection, and hot spots based on the VIIRS sensor. In both cases, these hotspots are detected using the thermal infrared bands to detect temperature anomalies on the Earth's surface<sup>18</sup>. We used data from the period of interest (2000-2020) available on NASA's FIRMS -Fire Information for Resource Management System website (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/download/>).

---

<sup>17</sup> Louis Giglio et al., "An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor," *Remote sensing of environment* 113, no. 2 (2009): 408-420

<sup>18</sup> Wilfrid Schroeder et al., "The New VIIRS 375 m active fire detection data product: Algorithm description and initial assessment," *Remote Sensing of Environment* 143 (2014): 85-96; Giglio et al., "The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product."

**Table 1:** Spectral bands of MODIS MOD09A1 images; adapted from EF Vermote, SY Kotchenova, and JP Ray, “MODIS surface reflectance user’s guide,” MODIS Land Surface Reflectance Science Computing Facility, version 1 (2011)

| Band number | Description   | Spectral range in nm |
|-------------|---------------|----------------------|
| 1           | Red           | 620-670              |
| 2           | Near Infrared | 841-876              |
| 3           | Blue          | 459-479              |
| 4           | Green         | 545-565              |
| 5           | SWIR1         | 1230-1250            |
| 6           | SWIR2         | 1628-1652            |
| 7           | SWIR3         | 2105-2155            |

Additionally, we surveyed the local authorities of the MMARN in the Valverde, Monte Cristi and Pedernales provinces to identify the possible causes of forest fires, the history of major forest fires and deforestation and the capacities of the Ministry to prevent and control them. These missions allowed us to visit about twenty burned areas identified by photointerpretation on MODIS data in the above-mentioned provinces and in the provinces of Dajabón, San Juan and Barahona for validation purposes. They also allowed us to obtain information on the impact of forest fires on humid and coniferous forests and on dry and semi-humid forests that could be helpful for future studies.

### 2.3 Methods

Burned area sampling From the MODIS MOD09A1 images, we identified a set of 27 burned areas of humid

broadleaf and coniferous forests (Fig. 2). These areas span 311.22 km<sup>2</sup> over the period 2001-2020 (Fig. 3) confirmed with the presence of VIIRS and MODIS hotspots. The images were photointerpreted in pairs to identify the dates before and after the fire using the natural color composition (bands 143 on the MOD09A1 images) and the SWIR2/NIR/blue (623) and SWIR3/NIR/blue (723) false color composites; each area was validated with the identification of hot spots to confirm the existence of a forest fire and the date of occurrence. Since these areas were obtained by photo-interpretation of MODIS images at 500-meter spatial resolution, the identified burned areas have a relatively large mean area of 11.52 km<sup>2</sup>. Regarding the validation with thermal data, we found clusters of at least 4 hot spots at or close to the burned area location identified on the MODIS images (500 m or less) for the same dates. For each of those burned areas, we saved the date and reflectance values of the spectral bands from the last pre-fire and the first post-fire images (with good quality pixels, unaffected by cloud cover for example). We carried out the same process with unburned areas for comparison. The unburned reference data have been obtained on the same dates and over contiguous areas to the identified burned areas to get references on the same type of forests. We identified 27 unburned areas covering 655 km<sup>2</sup> by photointerpretation which were confirmed by the absence of hotspots.

Statistical analysis of the validity of the spectral indices To validate the relevance of different commonly used spectral indices of burned areas in the Dominican Republic, we performed an analysis to confirm that there is a statistically

significant difference between the values of the indices of burned areas before and after a forest fire. In order to ensure the independence of observation, we calculated the mean reflectance values over all the pixels of each one of the 27 burned areas and 27 unburned areas identified in the previous stage. We thus obtained a set of 27 burned and 27 unburned reflectance values for the spectral bands recorded by MODIS. We calculated the following spectral indices over the burned and unburned areas:

- differenced Normalized Burn Ratio (dNBR, Equation 1) based on the difference between the Normalized Burn Ratio (NBR, Equation 2) calculated over the prefire ( $NBR_{pre}$ ) and postfire ( $NBR_{post}$ ) reflectance values<sup>18</sup>,

- Relative differenced Normalized Burn Ratio (RdNBR, Equation 3) calculated as the ratio between dNBR and the square root of the absolute value of  $NBR_a$ ,<sup>19</sup>

- The difference between the values of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI, Equation 4)<sup>20</sup> before ( $NDVI_{pre}$ ) and after ( $NDVI_{post}$ ) to a fire (Equation 5).

Additionally, we calculated 7 ratios  $R_{band}$  between the prefire ( $band_{pre}$ ) and postfire ( $band_{post}$ ) reflectances of one spectral band (Equation 6). The ratio was applied separately on the 7 bands available in order to confirm if the variations of one-band reflectance before and after a forest fire could improve the identification process of burned areas.

$$dNBR = NBR_{pre} - NBR_{post} \quad (1)$$

$$NBR = \frac{NIR - SWIR3}{NIR + SWIR3} \quad (2)$$

$$RdNBR = \frac{dNBR}{\sqrt{|NBR_{post}|}} \quad (3)$$

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (4)$$

$$\Delta NDVI = NDVI_{post} - NDVI_{pre} \quad (5)$$

$$R_{band} = \frac{band_{pre}}{band_{post}} \quad (6)$$

**Identification of threshold values for the application of indices and ratio** Finally, for each index or ratio validated in the previous stage, five threshold values were calculated to be tested on the MODIS images in order to obtain the best parameters for burned areas identification. The threshold values were obtained by calculating the median value between the two means of burned and unburned areas of each index or ratio using the following formula, with  $V_{unburned}$  the value of the calculated index or ratio over unburned areas and  $V_{burned}$  over burned areas:

$$V_{median} = V_{unburned} + V_{burned} - V_{unburned} \quad (7)$$

Around that median value, 4 values  $V_{modified}$  were calculated with 15 and 25% positive and negative variance using the following formula with  $x$  the percent variance:

$$V_{modified} = V_{median} \pm (V_{burned} - V_{unburned}) * 100 \quad (8)$$

Those five potential threshold values per index or ratio were then tested to obtain the best parameters for burned areas identification. The best parameters have been obtained by comparing all the combinations of 5 thresholds per index or ratio with reference data obtained by photointerpretation on Landsat-8 imagery in order to create a confusion matrix and obtain the overall accuracy, error of omission and error of commission values. The methodology is fully described in section 2.4, *Validation and identification of best parameters*.

**MODIS imagery processing** The 936 MODIS images downloaded in HDF-EOS format were converted to GeoTIFF with NASA's MODIS Reprojection Tool program. Then, with an algorithm we developed in python using the arcpy library, these images were masked out with the limits of the 9 forested areas of interest and with the quality information contained in the images State Flags (with `sur_refl_state_500m` extension) to only use pixels not covered by cloud, cloud shadow, or cirrus, among other defects on the MODIS imagery<sup>19</sup>. The quality information is initially encoded in a 16-bit string which gives the value 72 when converted to an integer. With those masked images, we calculated indices and ratios using an image of date  $dx$  (image acquired potentially before the fire,  $image_{pre}$ ) and an image of date  $dx+1$  (8 days later, potentially a post-fire image,  $image_{post}$ ); if a value greater (for dNBR, NBR, RdNBR and  $\Delta NDVI$ ) or smaller (for  $R_{band}$ ) than the threshold value was detected, the pixel

---

<sup>19</sup> Vermote, Kotchenova, and Ray, "MODIS surface reflectance user's guide."

position along with its indices and ratio values as well as the  $d_x$  and  $d_{x+1}$  dates are saved in a GeoTIFF file. If the dates  $dx$  and  $dx+1$  don't allow to detect burned area for a given pixel, the images are processed with the dates  $dx$  for the image<sub>pre</sub>) and  $d_{x+2,3,\dots,7}$  for image<sub>post</sub>) since during that period of time (56 days), we are confident that the effects of a fire can be observed remotely<sup>20</sup> without obtaining false positives due to the normal reflectance variations of the vegetation due to annual life cycle. If no values exceed the index and ratio thresholds, the process is repeated with the  $d_{x+2}$  date for the image<sub>pre</sub> and  $d_{x+3,4,\dots,8}$  for the image<sub>post</sub>; otherwise the process is repeated with dates  $dx+44$  for image<sub>pre</sub> and  $d_{dx+45,46,\dots,51}$  for image<sub>post</sub>, that is 44 dates later (352 days) since we considered that a burned forest will not recover during that year (actually, a moist broadleaf forest can take up to 10 years to fully recover). The process is repeated until the list of 936 dates is completed and this process is applied to the other pixels of the image (see figure 4). Due to the large number of data to be processed (15,384 pixels per date), a Python script was created with the numpy and gdal libraries and the data was divided by protected areas to process the pixels in parallel processes using the multiprocessing library.

## 2.4 Validation and identification of best parameters

We evaluated the accuracy of our methodology by identifying burned and unburned areas on Landsat-8 images

---

<sup>20</sup> David Roy and Luigi Boschetti, "Southern Africa validation of the MODIS, L3JRC, and GlobCarbon burned-area products," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on* 47

between June 9<sup>th</sup> and August 12<sup>th</sup>, 2014 in Valle Nuevo National Park to get reference data following the methodology presented by Boschetti et al.<sup>21</sup>. We estimated 41.2 km<sup>2</sup> of burned areas and 274.4 km<sup>2</sup> of unburned areas by photointerpretation the same way we did it with MODIS imagery, i.e. by looking at variation in color when looking at the false color composite and confirming with VIIRS hot spots. Due to cloud cover over the others areas of interest on Landsat 5-8 imagery, we only found that unique case of reliably identifiable extended burned area on MODIS imagery and Landsat imagery at the same time. This is related to the fact that Landsat-8 has a sixteen days revisit time which is insufficient to monitor burned areas on tropical forest as the probability to obtain a cloud free image is low. As we need Landsat high spatial resolution images (high relative to MODIS 500m resolution) to correctly create the reference areas and evaluate our product, this spatially limited reference data implies a limitation of the validation process quality. The burned areas identified in Landsat-8 images were compared with those in MODIS with all possible combinations of threshold values identified for the indices and ratio ; To achieve this, the MODIS image processing output was reprojected with the same coordinate reference system (WGS84 UTM 19N) and resampled at the same resolution as the Landsat-8 (30m) images ensuring

---

<sup>21</sup> L Boschetti, DP Roy, and CO Justice, “International Global Burned Area Satellite Product Validation Protocol. Part I–production and standardization of validation reference data,” *Committee on Earth Observation Satellites: Maryland, MD, USA, 2009*, 1–11.

that a comparison pixel by pixel could be made<sup>22</sup> thanks to the activation of the environmental variable Snap to Raster with the arcpy library. We developed an algorithm in Python with the numpy and gdal libraries to create a confusion matrix to get the true positive (TP), true negative (TN), false positive (FP) and false negative (FN) pixel counts in order to calculate the Overall Accuracy (OA, see equation 9), the Error of Omission (EO, equation 10) and the Error of Commission (EC, equation 11).

$$OA = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (9)$$

$$EO = \frac{FN}{FN + TP} \quad (10)$$

$$EC = \frac{FP}{FP + TP} \quad (11)$$

For comparison, the same process was implemented with burned area global product MCD64A1 elaborated with the reflectance and active fires data available at the USGS website <https://earthexplorer.usgs.gov/>. This product was evaluated on the same Landsat-8 area and period to compare its OA, EO and EC with our product.

## 2.5 Analysis of spatial and temporal patterns

**Spatial patterns** From the burned areas we located during the period 2000-2020, an analysis of spatial patterns

---

<sup>22</sup> Giglio et al., “The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product.”

was carried out to identify pixel clusters of burned areas with similar time of occurrence and scattered pixels of burned areas.

**Temporal patterns** With the dates of the images before and after the forest fire, we carried out an analysis of the temporal patterns of the recorded events. The analysis is based on the description of the fire frequency distribution in two time frames:

- Inter-annual for the period 2000-2020 to identify the years with the highest and lowest frequencies, as well as the annual average

- Intra-annual, for a period of a year, by summing the events that happened on the same Julian calendar day among the 8 days product we obtained on 21 years. We also calculated the mean and identified the time of highest and lowest fire frequency within this period. Special emphasis was placed on the difference between dry and wet seasons, as well as the calendars of agricultural activities that are used in the country.

Additionally, we counted the number of burned areas detected over the period 2000-2020 for each pixel of interest, since there is a possibility that the vegetation cover will burn, regenerate and burn again several times on the same area during the 21 year timeframe.

### **3. Results**

#### **3.1 Statistical analysis of the validity of the spectral indices**

To identify a small number of indices and ratios that allow us to discriminate burned and unburned areas on

MODIS images covering our vegetation of interest, we made a statistical analysis on our burned and unburned data. We confirmed the normality of the distributions of the indices and ratios we tested from unburned (Table 2) and burned areas (Table 3), except in the case of red band, blue band and SWIR3 band ratios calculated on the burned and unburned areas, as well as the  $\Delta$ NDVI calculated on the unburned areas. Those seven cases, highlighted in bold in tables 2 and 3, have p-values inferior to 0.05 which allows null hypothesis rejection of distribution normality.

**Table 2:** Descriptive statistics and normality test (Shapiro) of the indices and ratios distributions for un- burned area.

| Index and ratio | Mean / Median / $\sigma$   | Shapiro |
|-----------------|----------------------------|---------|
| p-value         |                            |         |
| dNBR            | 0.01807 / 0.01356 / 0.0849 | 0.2494  |
| RdNBR           | 0.02078 / 0.0185 / 0.1215  | 0.1414  |
| $\Delta$ NDVI   | 0.01124 / 0.01604 / 0.0583 | 0.0447  |
| $R_{red}$       | 0.8858 / 0.7996 / 0.2946   | 0.0175  |
| $R_{NIR}$       | 0.8907 / 0.8586 / 0.1369   | 0.1477  |
| $R_{blue}$      | 0.8915 / 0.8192 / 0.294    | 0.0091  |
| $R_{green}$     | 0.8486 / 0.7884 / 0.2122   | 0.2458  |
| $R_{SWIR1}$     | 0.9148 / 0.8876 / 0.1523   | 0.1093  |
| $R_{SWIR2}$     | 0.887 / 0.8813 / 0.2044    | 0.0536  |
| $R_{SWIR3}$     | 0.8822 / 0.8542 / 0.3049   | 0.0044  |

**Table 3:** Descriptive statistics and normality test (Shapiro) of the indices and ratios distributions for burned area.

| Index and ratio | Mean / Median / $\sigma$   | Shapiro |
|-----------------|----------------------------|---------|
| p-value         |                            |         |
| dNBR            | 0.4080 / 0.4297 / 0.1279   | 0.9451  |
| RdNBR           | 0.5724 / 0.5718 / 0.1663   | 0.9648  |
| $\Delta$ NDVI   | 0.20604 / 0.20168 / 0.0635 | 0.3861  |
| $R_{red}$       | 0.702 / 0.653 / 0.2353     | 0.0039  |
| $R_{NIR}$       | 1.3277 / 1.2671 / 0.2924   | 0.1594  |
| $R_{blue}$      | 0.7223 / 0.6433 / 0.2372   | 0.0102  |
| $R_{green}$     | 0.9222 / 0.8929 / 0.2696   | 0.2255  |
| $R_{SWIR1}$     | 1.1705 / 1.1787 / 0.2419   | 0.5248  |
| $R_{SWIR2}$     | 0.8288 / 0.7754 / 0.2045   | 0.2865  |
| $R_{SWIR3}$     | 0.5392 / 0.5046 / 0.1817   | 0.0259  |

To determine if there is a statistically significant difference between the burned and unburned area data sets, since the numbers of sampling areas are inferior to 30 (with statistical populations of 27 in both cases), we applied the Student’s t-test methods for data following a normal distribution and Wilcoxon’s non-parametric test with unpaired data for non-normal distribution data. The tests indicate the rejection of the null hypothesis (i.e. the hypothesis that the samples come from populations with the same probability distribution) for the indices dNBR, RdNBR,  $\Delta$ NDVI and for the ratios  $R_{red}$ ,  $R_{NIR}$ ,  $R_{blue}$ , and  $R_{SWIR1}$  and  $R_{SWIR3}$ , presented in bold in table 4.

**Table 4:** Results of the Student’s t-test and the Wilcoxon’s test on the distributions of burned and unburned areas. The letters in parentheses indicate whether the Student’s test was applied to distributions with equal (E) or unequal variances (U).

| Index and ratio | Student p-value | Wilcoxon p-value |
|-----------------|-----------------|------------------|
| dNBR            | < 2.2e-16 (U)   | -                |
| RdNBR           | < 2.2e-16 (E)   | -                |
| $\Delta$ NDVI   | -               | 2.003e-13        |
| Rred            | -               | 0.003963         |
| RNIR            | 2.623e-08 (U)   | -                |
| Rblue           | -               | 0.005946         |
| Rgreen          | 0.2703 (E)      | -                |
| RSWIR1          | 3.083e-05 (U)   | -                |
| RSWIR2          | 0.3008 (E)      | -                |
| RSWIR3          | -               | 8.064e-07        |

We plotted the 27 burned and 27 unburned mean values calculated from the areas we acquired by photointerpretation on our MODIS imagery with the  $\Delta$ NDVI, dNBR and RdNBR indices and the  $R_{\text{SWIR1}}$  to confirm whether or not the two groups will easily be separated with threshold values (see figure 5). Since the statistical difference between burned and unburned areas is significant for the indices, we used dNBR, RdNBR and  $\Delta$ NDVI in this work to identify burned areas. Regarding the ratios, we ruled out the ratios  $R_{\text{red}}$ ,  $R_{\text{NIR}}$  and  $R_{\text{SWIR3}}$  whose bands are already taken into account in the indices. We also ruled out the ratio  $R_{\text{blue}}$  because the scatterplot shows a poor separation capability between burned and unburned areas based on this value (Figure 5c). Regarding RSWIR1 ratio, we decided to run a test

to determine its utility in separating burned and unburned areas; to do so, we run our model with the three indices and with/without the  $R_{SWIR1}$  ratio in order to compare the precision of both products.

### 3.2 Threshold values for the application of indices and ratio

Using Equation 8, we obtained the threshold values for the three indices and the retained ratio (dNBR, RdNBR,  $\Delta NDVI$  and  $R_{SWIR1}$ ). The thresholds are presented in table 5.

**Table 5:** Threshold values identified for the 4 identified indices or ratio

|               | 25% inf. | 15% inf. | Median value | 15% sup. | 25% sup. |
|---------------|----------|----------|--------------|----------|----------|
| dNBR          | 0.1155   | 0.174    | 0.213        | 0.252    | 0.3105   |
| RdNBR         | 0.1586   | 0.2414   | 0.2966       | 0.3517   | 0.4344   |
| $\Delta NDVI$ | 0.0599   | 0.0892   | 0.1086       | 0.1281   | 0.1573   |
| RSWIR1        | 0.9787   | 1.017    | 1.0427       | 1.068    | 1.1065   |

### 3.3 Validation and identification of best parameters

We tested two different models on a set of 18 MODIS MOD09A1 images compared with the result of the photo-interpretation of six Landsat-8 images from June to August 2014 period in Valle Nuevo National Park. For the first one we took into account the three indices and the  $R_{SWIR1}$  ratio.

The 625 possible combinations (5 threshold values for each one of the 4 indices and ratio) were tested. The combinations gave us a best Overall Accuracy of 0.87 with threshold values of 0.213, 0.3517, 0.1573 and 0.9787 for dNBR, RdNBR,  $\Delta$ NDVI and  $R_{\text{SWIR1}}$  respectively. The second model took into account only the three indices without the  $R_{\text{SWIR1}}$  ratio, which reduces the possible combinations (125). The best Overall Accuracy combination gave a better value (0.954) along with good omission and commission errors (0.1 and 0.21 respectively). This model has been selected because of a better precision and a reduced processing time.

The validation process carried out with the results of the MCD64A1 C6 product on our Landsat-8 reference data showed an Overall Accuracy, Error of Omission and Error of Commission of 0.949, 0.087 and 0.247, respectively. In comparison, Boschetti et al.<sup>23</sup> obtained values of 0.997, 0.726 and 0.402 respectively in all biomes and in particular 0.994, 0.906 and 0.635 in the tropical forest, while Giglio et al.<sup>24</sup> found global values of 0.97, 0.37 and 0.24 respectively.

Regarding the validation of the results obtained with our algorithm, they offered slightly better values than those obtained with the MCD64A1 product for the overall accuracy and the error of omission with a higher overall accuracy (0.954 vs. 0.949, and 0.1 vs. 0.087 respectively) and a lower

---

<sup>23</sup> Boschetti, Roy, and Justice, "International Global Burned Area Satellite Product Validation Protocol. Part I-production and standardization of validation reference data."

<sup>24</sup> Giglio et al., "The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product."

commission error (0.21 vs. 0.247). This situation is superior to the results obtained by Levin and Heimowitz<sup>25</sup> that compared the results of MODIS image processing (MOD13Q1) with the indices dNBR, RdNBR and NDVI (among others) with the product MCD45A1 (product made with an algorithm prior to the MDC64A1). These authors obtained similar overall accuracy values (0.969-0.961) for their first product, 0.96-0.965 for their second one), higher error of omission for the product obtained with MOD17Q1 than those obtained with the MCD45A1 product (0.725-0.587 versus 0.533-0.431) and lower error of commission (0.159-0.093 vs. 0.485-0.179).

### 3.4 Spatial and temporal patterns

Figure 7 shows the presence of scattered burned areas in all the protected area of interest, particularly in the Nalga de Maco, Armando Bermúdez, José del Carmen Ramírez, Valle Nuevo, Sierra de Neiba and Sierra de Bahoruco. Figure 7 also shows clusters of extensive burned areas in three protected areas:

- two burned areas of 94.8 and 69.5 km<sup>2</sup> in the José del Carmen Ramírez National Park that occurred in February 2005
- two burned areas of 21 and 10.5 km<sup>2</sup> in the Sierra de Bahoruco National Park that occurred in August 2013 and September 2001 respectively
- a burned area of 41.2 km<sup>2</sup> in the Valle Nuevo National Park that occurred in the summer of 2014.

---

<sup>25</sup> Levin and Heimowitz, "Mapping spatial and temporal patterns of Mediterranean wildfires from MODIS.

José del Carmen Ramírez, Sierra de Bahoruco and Valle Nuevo National Parks have been affected by forest fire on 259, 129 and 219 km<sup>2</sup> respectively when counting a burned area only once (Fig. 8 top) and on 512, 219 and 496 km<sup>2</sup> respectively when counting repeatedly a pixel burned up to four times during 2000-2020 (Fig. 8 bottom). In relative terms, when comparing the burned areas (once per detected pixel) to the studied area in each protected area (humid broadleaf and coniferous vegetation), those three national parks are still among the most affected with 47.3, 22.1 and 32.3% for José del Carmen, Sierra de Bahoruco and Valle Nuevo respectively. However, Sierra de Neiba comes in third place with 24.8% of its studied forest area affected and Nalga de Maco is close to the average value (Fig. 9)

Regarding temporal patterns, the two time frames analyzed gave the following results:

- On inter-annual basis (Fig. 10 top), we estimated an average of 68.1 km<sup>2</sup> of burned areas per year, with a maximum of 296 km<sup>2</sup> in 2005 and a minimum of 30 km<sup>2</sup> in the years 2017 and 2018 (2020 was not taken into account because the data span until July). It was also noted that apart from the year 2005, six years were above the mean value: the years 2001 (101 km<sup>2</sup>), 2002(80 km<sup>2</sup>), 2008 (70 km<sup>2</sup>), 2013 (77 km<sup>2</sup>), 2014 (113 km<sup>2</sup>) and 2015 (83 km<sup>2</sup>).

- At the intra-annual (Fig. 10 bottom) an average of 31.1 km<sup>2</sup> of burned areas was recorded, with a maximum of 158 km<sup>2</sup> for the end of March (day 113 of the Julian Calendar) and a minimum of 0 km<sup>2</sup> for October (day 297). There is a clear difference between two periods of the year: from January to April, 14 8-days periods are above the annual average value whereas between mid-April to the beginning of January, 28

periods are below the annual average. Two periods remained as exceptions: the month of July and the end of December with two periods and one period above the average respectively. In total, between the year 2000 and 2020, 1431 km<sup>2</sup> of burned areas have been detected when summing the area of pixels that have burned up to four times during this period (see figure 11) and 713 km<sup>2</sup> when counting each burned area only once (which corresponds to the spatial extent of the burned areas). When counting only once the burned area pixels (whether they burned multiple times or just once), a total of 857.7 km<sup>2</sup> of affected area has been detected.

#### 4. Discussion

Results from the statistical analysis suggest the feasibility of using the indices dNBR, RdNBR,  $\Delta$ NDVI to differentiate burned and unburned areas for the humid broadleaf and coniferous vegetation of our area of interest. These indices are commonly used for the identification of burned areas in all types of vegetation, for example by Levin and Heimowitz<sup>26</sup> in herbaceous vegetation. The use of an additional band ratio like  $R_{\text{SWIR1}}$  did not improve the precision of our model.

As for the threshold values of the dNBR and RdNBR indices retained, these are much higher than the values used by Levin and Heimowitz<sup>25</sup> probably because there is quite a significant reflectance variation for the near-infrared and shortwave infrared bands between the humid or coniferous tropical forests (prefire) and burned soils (post-fire), greater

---

<sup>26</sup> Levin and Heimowitz, "Mapping spatial and temporal patterns of Mediterranean wildfires from MODIS."

than the reflectance variation between the Mediterranean vegetation studied by these authors (mainly maquis, thermophilic forest and herbaceous vegetation) and burned soils.

The Overall Accuracy value calculated on the MOD09A1 product we processed is slightly higher than the one obtained with the MCD64A1 product on our area of interest and the error of commission (CE) was lower. The difference between our locally parameterized MOD09A1 product and the globally parameterized MCD64A1 product is not significant and both could be used to identify broadleaf and coniferous forest fire in the Dominican Republic with high accuracy. These values are also lower than those recorded in other publications, which may be related to the developed algorithm efficiency in correctly detecting the burned areas; however, another possibility could be related to the fact that our analysis focused on a specific type of tropical vegetation when Boschetti et al.<sup>27</sup> for example evaluated the accuracy of the MCD64A1 product for tropical vegetation at global level, and that Levin and Heimowitz<sup>25</sup> evaluated specifically the Mediterranean vegetation. In addition, due to the dense cloud cover and the need to obtain MODIS and Landsat images with similar dates and visible burned areas to perform the validation process, we validated the accuracy of our product over a relatively small area and time frame, which limits the scope of that validation process. Due to this cloud cover, particularly dense in the tropical zone, it is highly probable that some fires are not detected because they are not visible in the MODIS images.

---

<sup>27</sup> Luigi Boschetti et al., "Global validation of the collection 6 MODIS burned area product," *Remote sensing of environment* 235 (2019): 111490

Despite these limitations, we validated the fact that the large burned areas identified in this research correspond to events that actually happened in the place and time recorded by the algorithm through photointerpretation of MODIS and Google Earth images, particularly in the José del Carmen Ramírez, Valle Nuevo and Sierra de Bahoruco National Parks. It is worth mentioning that these events occurred in the central areas of the national parks, far from the buffer zones where some agricultural activities prone to fire development are legally tolerated. It is possible that the fires in these areas are due to some illegal use of natural resources (charcoal production, hunting, agriculture) that may encourage the development of fires as declared by the Provincial Director of the Ministry of Environment and Resources Natural for the Pedernales province during a field visit.

Regarding the result obtained with the MCD64A1 C6 product in the area of interest, it is inferior (worst) in terms of overall accuracy and superior (better) in terms of errors of omission and commission to the results obtained by Boschetti et al.<sup>28</sup> and Giglio et al.<sup>29</sup> with the same product on bigger and more diverse areas. However, the high overall accuracy of these two publications is primarily due to the small area of burned areas compared to the total area analyzed; the very high overall accuracy is related to the high number of true-positives over the unburned areas. In our case, we analyzed a particularly

---

<sup>28</sup> Boschetti, Roy, and Justice, “International Global Burned Area Satellite Product Validation Protocol. Part I—production and standardization of validation reference data.”

<sup>29</sup> Giglio et al., “The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product.”

extensive set of burned areas related to the total extent, which represents 15% of the analyzed surface. That could explain the difference in values we found for this particular product on our area of interest. Regarding temporal patterns, a probable correlation is perceived between the number of km<sup>2</sup> of burned areas and the dry season that typically extends from November to April in the Dominican Republic; the number of burned areas increases progressively as the vegetation dries out and reaches a peak in March-April, probably due to the start of land preparation prior to planting short-cycle crops (beans, corn, pigeon peas) for which the vegetation is burned before the start of the rainy season (May-September). This type of production has historically been an important factor in the development of forestry fires in the country. There is also a probable correlation between the number of km<sup>2</sup> of burned areas and periods of prolonged drought. The high area value of burned areas for the year 2014 (112 km<sup>2</sup>) and 2015 (80 km<sup>2</sup>) also corresponds to a particularly dry year<sup>30</sup>. However, the correlation between these two variables must be carefully evaluated since other years characterized by droughts did not show an increase in the area covered by burned areas in humid and coniferous forests (during the drought of 2019 for example). In the future, other burned area identification methodologies could

---

<sup>30</sup> Dimitris Herrera and Toby Ault, “Insights from a New High-Resolution Drought Atlas for the Caribbean Spanning 1950–2016,” *Journal of Climate* (Boston MA, USA) 30, no. 19 (2017): 7801–7825, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0838.1>, <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/30/19/jcli-d-16-0838.1.xml>; Dimitris A Herrera et al., “Exacerbation of the 2013–2016 pan-Caribbean drought by anthropogenic warming,” *Geophysical research letters* 45, no. 19 (2018): 10–619.

be evaluated with the data set we use (reference data and data for processing), for example relying on machine learning to process the MODIS data as applied by Mithal et al.<sup>31</sup> with the RAPT algorithm. Also, the processing of radar data such as Sentinel-1, available since 2015, appears as a relevant solution to detect forestry fires in tropical areas characterized by dense cloud cover as tested by lohberger et al.<sup>32</sup>.

## 5. Conclusion

The application of the spectral indices dNBR, RdNBR,  $\Delta$ NDVI with threshold obtained by MODIS and Landsat-8 photo-interpretation allows the adequate identification of burned areas in tropical moist broadleaf and coniferous forests of the Dominican Republic, offering good results in terms of Overall Accuracy and Commission and Omission Errors. The global MCD64A product has shown pretty accurate results for this kind of vegetation, similar to our locally parameterized product in terms of Overall Accuracy and Error of Omission. Large extensions of burned areas were identified in particular in three protected areas of the country (José del Carmen Ramírez, Valle Nuevo and Sierra de Bahoruco) that happened mainly during the years 2005 and 2014. At an inter-annual level, most burned areas have

---

<sup>31</sup> Varun Mithal et al., “Mapping burned areas in tropical forests using a novel machine learning framework,” *Remote Sensing* 10, no. 1 (2018): 69

<sup>32</sup> Sandra Lohberger et al., “Spatial evaluation of Indonesia’s 2015 fire-affected area and estimated carbon emissions using Sentinel-1,” *Global change biology* 24, no. 2 (2018): 644–654

been detected during the dry season in general with a peak at the end of March. Around 35% of the pixels flagged as burned areas have been detected more than one time on the 2000-2020 period, showing that some areas are prone to repeated forestry fires, mainly within the same three protected areas above mentioned. The scripts developed for this research, the reference data and the results are available via the following link: <https://github.com/martinrapilly>.

## 6. Acknowledgments

This research has been funded by the Faculty of Sciences of the Autonomous University of Santo Domingo. The authors thank Agr. Engineer Oscar Valenzuela and Dr. Dimitris Herrera for reviewing and for the contributions made to this document.

## 7. Bibliography

- Acosta, Mayelin. “Bosques RD producen 800 mil metros cúbicos de madera anual.” [Online; accessed 19-oct-2020], December 2015.
- Boschetti, L, DP Roy, and CO Justice. “International Global Burned Area Satellite Product Validation Protocol. Part I-production and standardization of validation reference data.” Committee on Earth Observation Satellites: Maryland, MD, USA, 2009, 1-11.
- Boschetti, Luigi, David P Roy, Louis Giglio, Haiyan Huang, Maria Zubkova, and Michael L Humber. “Global validation of the collection 6 MODIS burned area product.” *Remote sensing of environment* 235 (2019): 111490.

- Caceres, Claudia. "Using GIS in Hotspots Analysis and for Forest Fire Risk Zones Mapping in the Yeguaré Region, Southeastern Honduras." PhD diss., August 2011. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18838.55369>.
- Chuvieco, Emilio. Remote sensing of large wildfires: in the European Mediterranean Basin. Springer Science & Business Media, 2012.
- De la Cruz Matos, Solange. "Bosques del país almacena mucho carbono," April 2018. <https://listindiario.com/economia/2018/04/25/512105/bosques-del-pais-almacenan-mucho-carbono>.
- Giglio, Louis, Luigi Boschetti, David P Roy, Michael L Humber, and Christopher O Justice. "The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product." *Remote sensing of environment* 217 (2018): 72–85.
- Giglio, Louis, Tatiana Loboda, David P Roy, Brad Quayle, and Christopher O Justice. "An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor." *Remote sensing of environment* 113, no. 2 (2009): 408–420.
- Herrera, Dimitris, and Toby Ault. "Insights from a New High-Resolution Drought Atlas for the Caribbean Spanning 1950–2016." *Journal of Climate* (Boston MA, USA) 30, no. 19 (2017): 7801–7825. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0838.1>. <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/30/19/jcli-d-16-0838.1.xml>.
- Herrera, Dimitris A, Toby R Ault, John T Fasullo, Sloan J Coats, Carlos M Carrillo, Benjamin I Cook, and A Park Williams. "Exacerbation of the 2013–2016

- pan-Caribbean drought by anthropogenic warming.” *Geophysical research letters* 45, no. 19 (2018): 10–619.
- Levin, Noam, and Aliza Heimowitz. “Mapping spatial and temporal patterns of Mediterranean wild- fires from MODIS.” *Remote Sensing of Environment* 126 (2012): 12–26.
- Lohberger, Sandra, Matthias Stängel, Elizabeth C Atwood, and Florian Siegert. “Spatial evaluation of Indonesia’s 2015 fire-affected area and estimated carbon emissions using Sentinel-1.” *Global change biology* 24, no. 2 (2018): 644–654.
- López, Yaniris. “¿Se hace turismo sostenible en República Dominicana?,” September 2017. <https://listindiario.com/la-vida/2017/09/27/484046/se-hace-turismo-sostenible-en-republica-dominicana>.
- Miller, Jay, Eric Knapp, Carl Key, Carl Skinner, Clint Isbell, R. Creasy, and Joseph Sherlock. “Calibration and validation of the relative differenced Normalized Burn Ratio (RdNBR) to three measures of fire severity in the Sierra Nevada and Klamath Mountains, California, USA.” *Remote Sensing of Environment* 113 (June 2009): 645– 656. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.11.009>.
- Ministerio de Medio Ambiente y RRNN. *Atlas de Biodiversidad y Recursos Naturales de la República Dominicana*. 2012.
- \_\_\_\_\_. *Estrategia Nacional de Manejo del Fuego para República Dominicana*. Technical report. 2016.
- \_\_\_\_\_. “Inventario Nacional Forestal de la República Dominicana.” Programa Regional Reducción de Emisiones de la Deforestación y Degradación de Bosques en Centroamérica y República Dominicana, 2021.

- \_\_\_\_\_. Quinto Informe Nacional de Biodiversidad de la República Dominicana. 2014.
- Mithal, Varun, Guruprasad Nayak, Ankush Khandelwal, Vipin Kumar, Ramakrishna Nemani, and Nikunj C Oza. "Mapping burned areas in tropical forests using a novel machine learning framework." *Remote Sensing* 10, no. 1 (2018): 69.
- Oficina Nacional de Estadísticas. Ocurrencia de incendios forestales 1972-2018. 2019. <https://www.one.gob.do/Multimedia/Download?ObjId=87643>.
- Rouse, J., R. Haas, J. Schell, and D. Deering. "Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS." NASA Special Publication 1 (January 1974).
- Roy, David, and Luigi Boschetti. "Southern Africa validation of the MODIS, L3JRC, and GlobCarbon burned-area products." *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on* 47 (May 2009): 1032–1044. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2008.2009000>.
- Schroeder, Wilfrid, Patricia Oliva, Louis Giglio, and Ivan A Csiszar. "The New VIIRS 375 m active fire detection data product: Algorithm description and initial assessment." *Remote Sensing of Environment* 143 (2014): 85–96.
- Snyder, Allison, Peter Fulé, and Joseph Crouse. "Comparison of burn severity assessment using Differenced Normalized Burn Ratio and ground data." *International Journal of Wildland Fire* 14 (June 2005). <https://doi.org/10.1071/WF04010>.
- Tansey, Kevin, Jean-Marie Grégoire, Pierre Defourny, Roland Leigh, Jean-François Pekel, Eric Van Boogaert, and Etienne Bartholomé. "A new, global,

multi-annual (2000–2007) burnt area product at 1 km resolution.” *Geophysical Research Letters* 35, no. 1 (2008). United States Geological Survey. Landsat 8 (L8) data users handbook. 2019.

Vermote, EF, SY Kotchenova, and JP Ray. “MODIS surface reflectance user’s guide.” MODIS Land Surface Reflectance Science Computing Facility, version 1 (2011).

## **8. Author contributions**

Martin Rapilly conceived this research, developed the theoretical part, data processing and analysis, and wrote this document. Edwin Medina and Martin Rapilly collected samples from burned areas by photointerpretation of satellite images. Emma Diloné, Edwin Medina and Martin Rapilly carried out field trips to confirm the results of the photointerpretation and identify the causes of the forestry fires.

## **9. Declaration of legal compliance and no conflicts of interest**

The authors of the article declare that they have no affiliations or relationships with organizations or entities with financial or non-financial interests in the subject presented in this document.

## 10. Figures

**Figure 1:** Map of the study area. Areas colored in dark purple correspond to humid and cloudy broadleaf forest type as well as dense and scattered coniferous forests. The boundaries of the protected areas are visible in pink on the map. The blank spaces within the protected areas were not taken into account since they correspond to places with scarce vegetation or agricultural activities. Data source: Ministerio de Medio Ambiente y RRNN, Atlas de Biodiversidad y Recursos Naturales de la República Dominicana (2012).

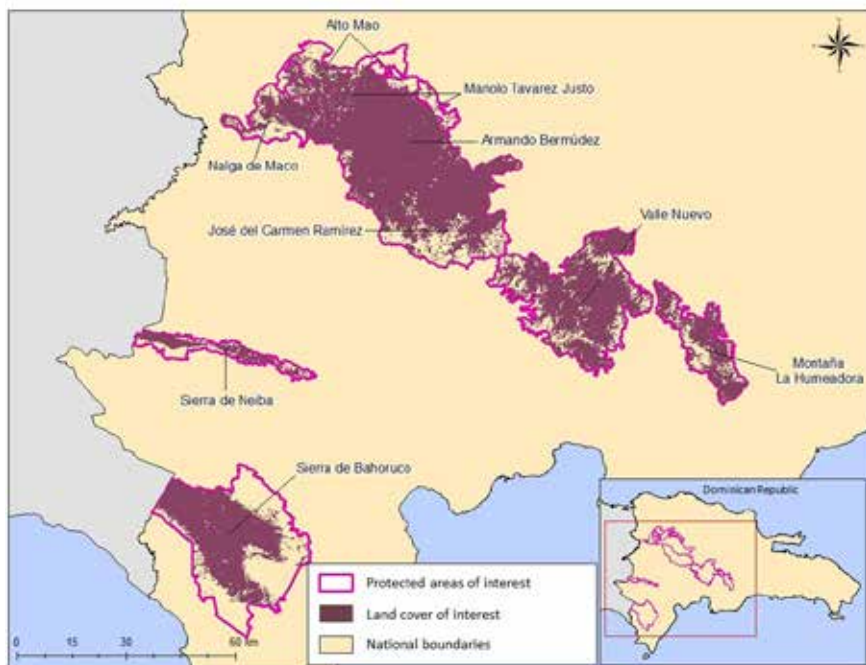
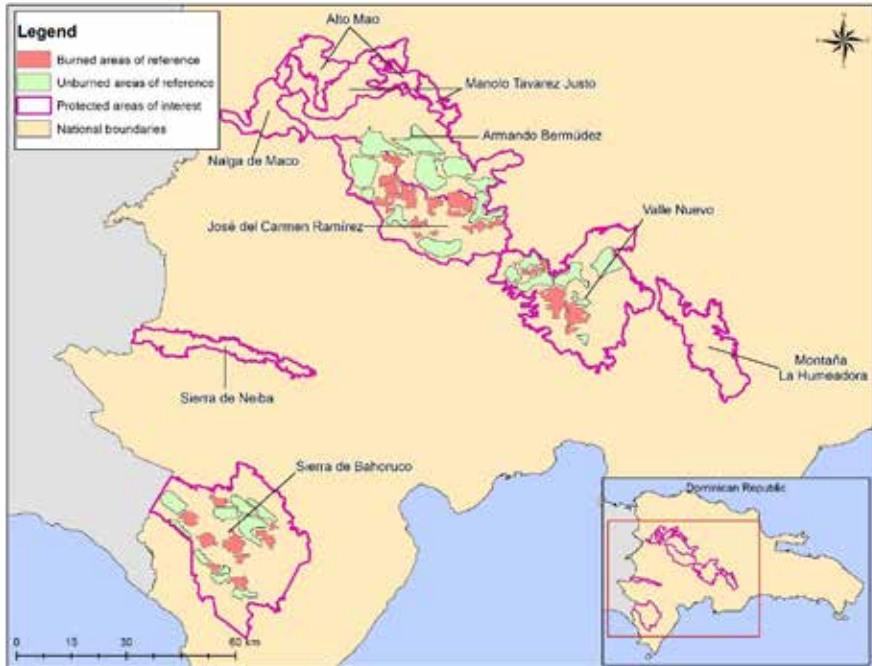


Figure 2: Location of burned (pink) and unburned (green) reference data obtained by photointerpretation of MODIS imagery and confirmed with VIIRS hot spots.



**Figure 3:** Photointerpretation of the MOD09A1 MODIS images: The images before (1) and after (2) forest fire are presented with the combination SWIR3/NIR/blue (723) ; The burned areas appear in orange pixels in the postfire image (2). The white triangles correspond to the location of hotspots detected by MODIS and VIIRS for the same range of dates (february to april 2005). The white area on the northwest corner correspond to low quality pixels masked out due to the presence of clouds.

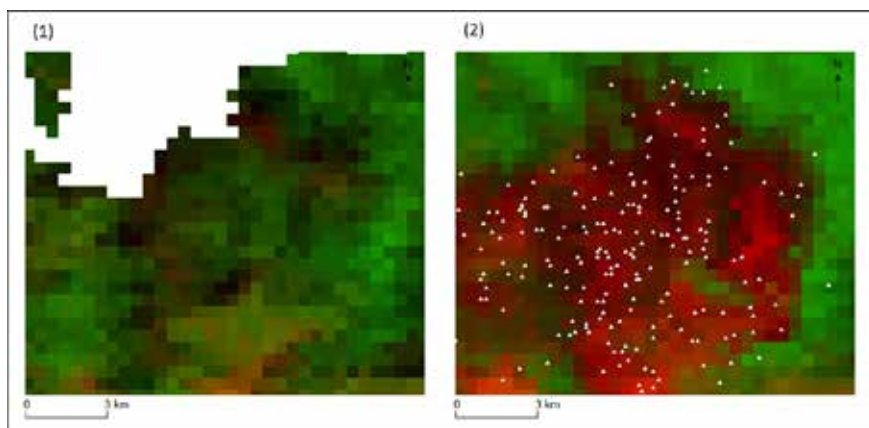
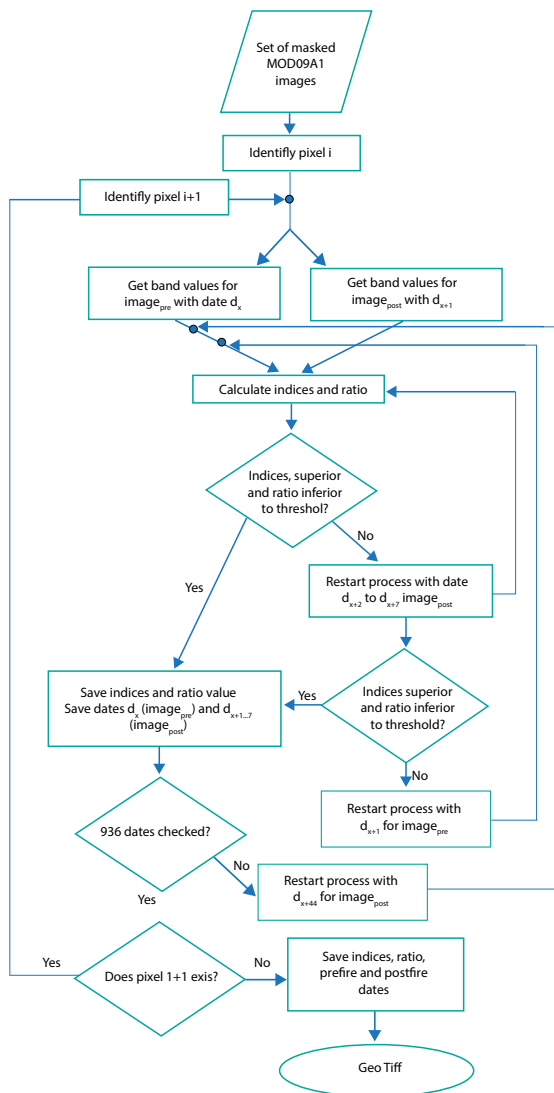
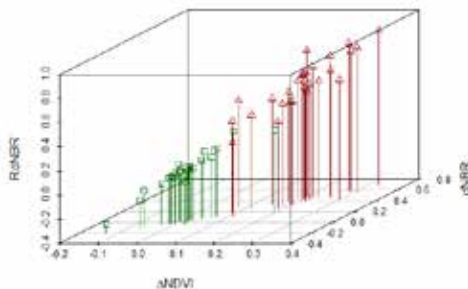


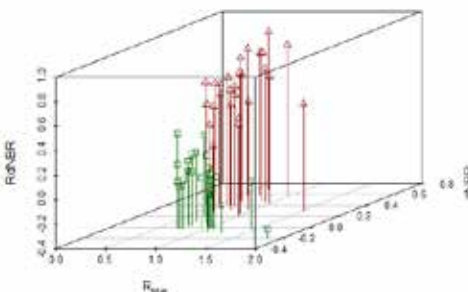
Figure 4: Flowchart of MODIS image processing for the identification of burned areas. The result is a file in GeoTiff format that contains the index and ratio values of the area detected as burned, as well as the dates of the prefire and postfire images.



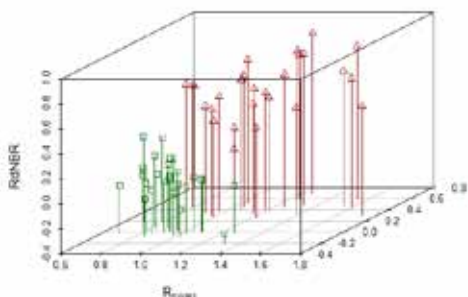
(a) Burned and unburned areas scatterplot with  $\Delta$ NDVI (x-axis), dNBR (y-axis) and RdNBR (z-axis)



(b) Burned and unburned areas scatterplot with RSWIR1 (x-axis), dNBR (y-axis) and RdNBR (z-axis)

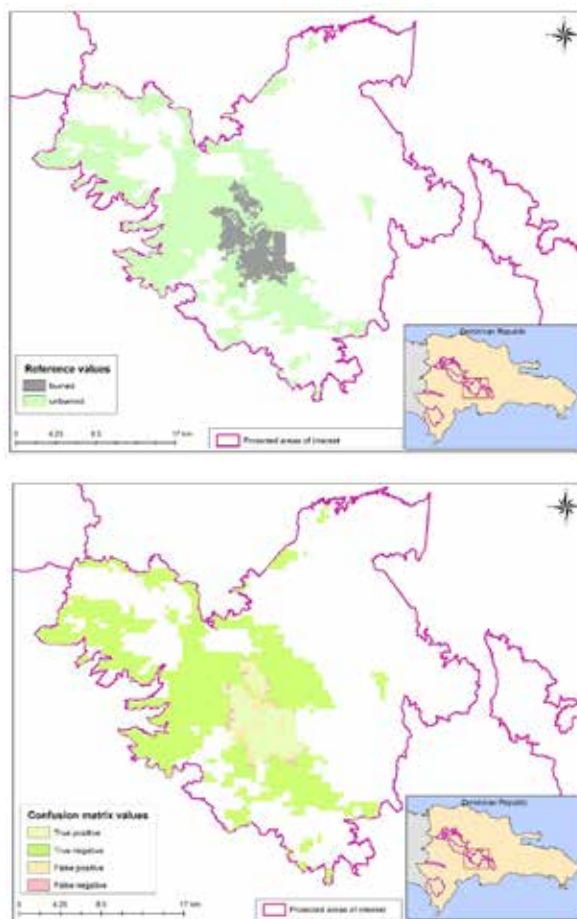


(c) Burned and unburned areas scatterplot with Rblue (x-axis), dNBR (y-axis) and RdNBR (z-axis)

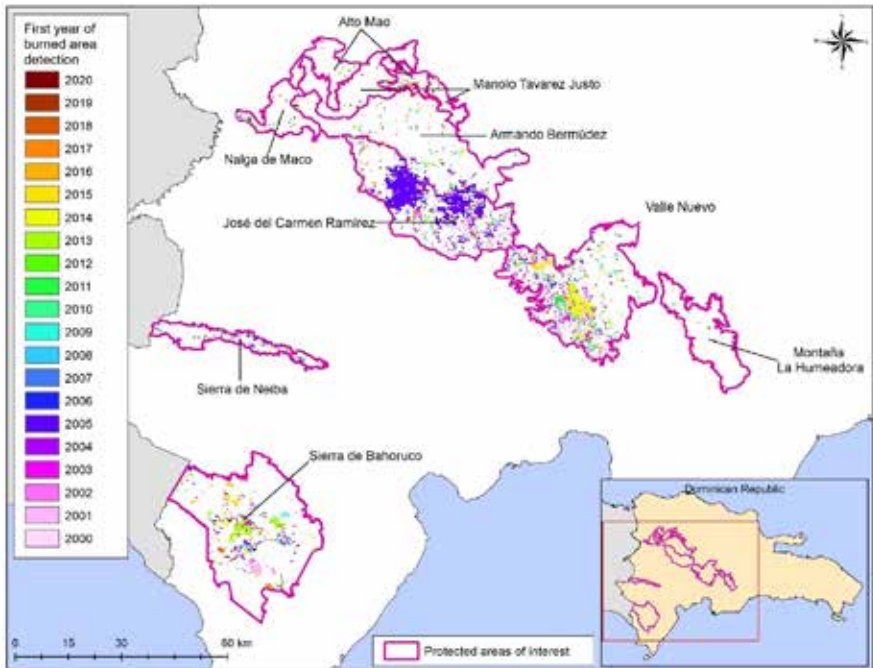


**Figure 5:** Three-dimensional scatterplots of the burned (red triangles) and unburned (green squares) areas mean values based on the  $\Delta$ NDVI (Panel a), RSWIR1 (Panel b) and Rblue (Panel c) along with the dNBR and RdNBR for the x, y and z axis respectively. The two groups are visually separable in all three dimensions with specific thresholds for panel (a) only.

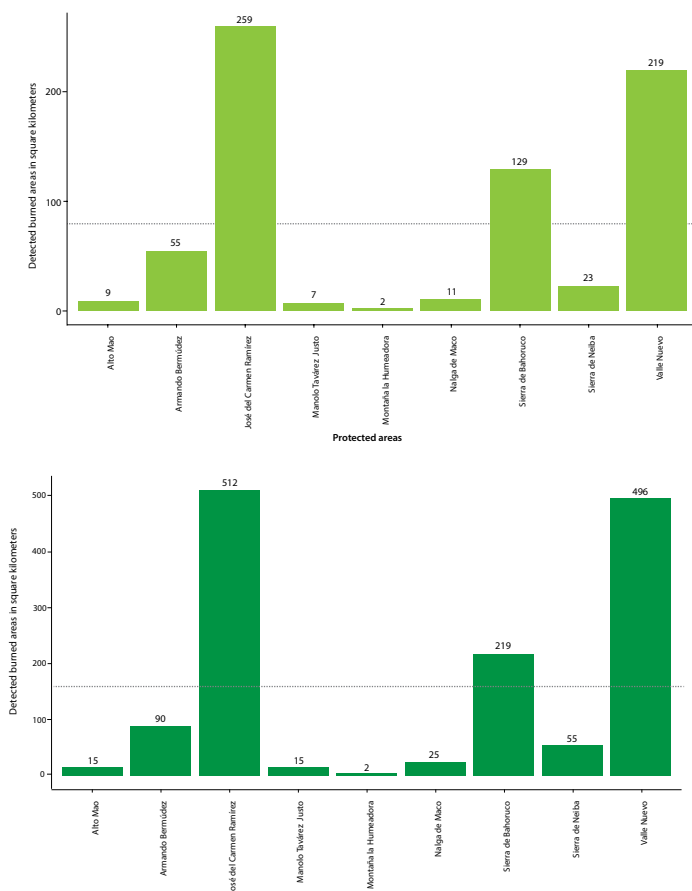
**Figure 6:** Comparison between reference data and processing results over the Valle Nuevo protected area. Top panel shows reference data created with Landsat-8 imagery on the Valle Nuevo protected area by photo-interpretation. Bottom panel shows mapping of the confusion matrix results obtained with the three indices model over 309.6 km<sup>2</sup>. Green areas correspond to True Positive (11.7% of the analyzed area) and True Negative pixels (83%). Part of the False Positive (3.1%) and False Negative (1.3%) are due to the spatial resolution differences between the reference data (Landsat-8 30 m resolution) and the processed data (MODIS 500 m resolution).



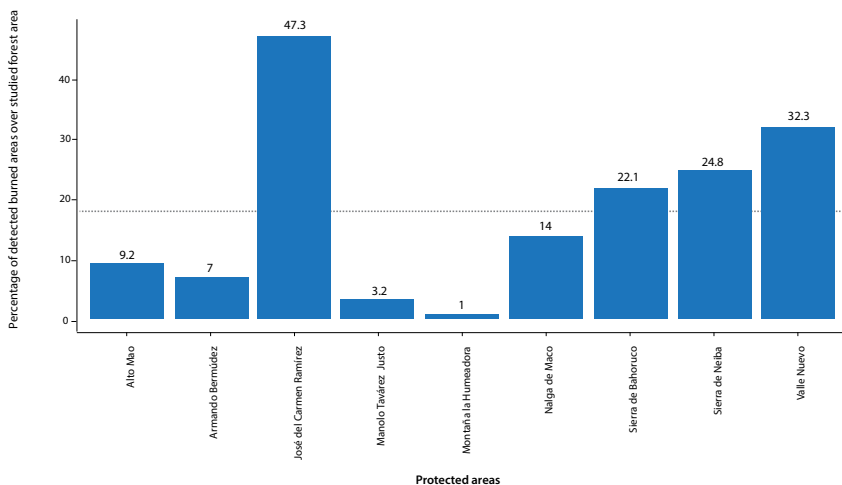
**Figure 7:** Map of the burned areas with their year of occurrence across the Dominican Republic. Five extended burned areas located in three protected areas have been identified: two in José del Carmen Ramírez in 2005, one in Valle Nuevo in 2014 and 2 in Sierra de Bahoruco. Numerous scattered burned areas have also been identified in all protected areas for the 2000-2020 period.



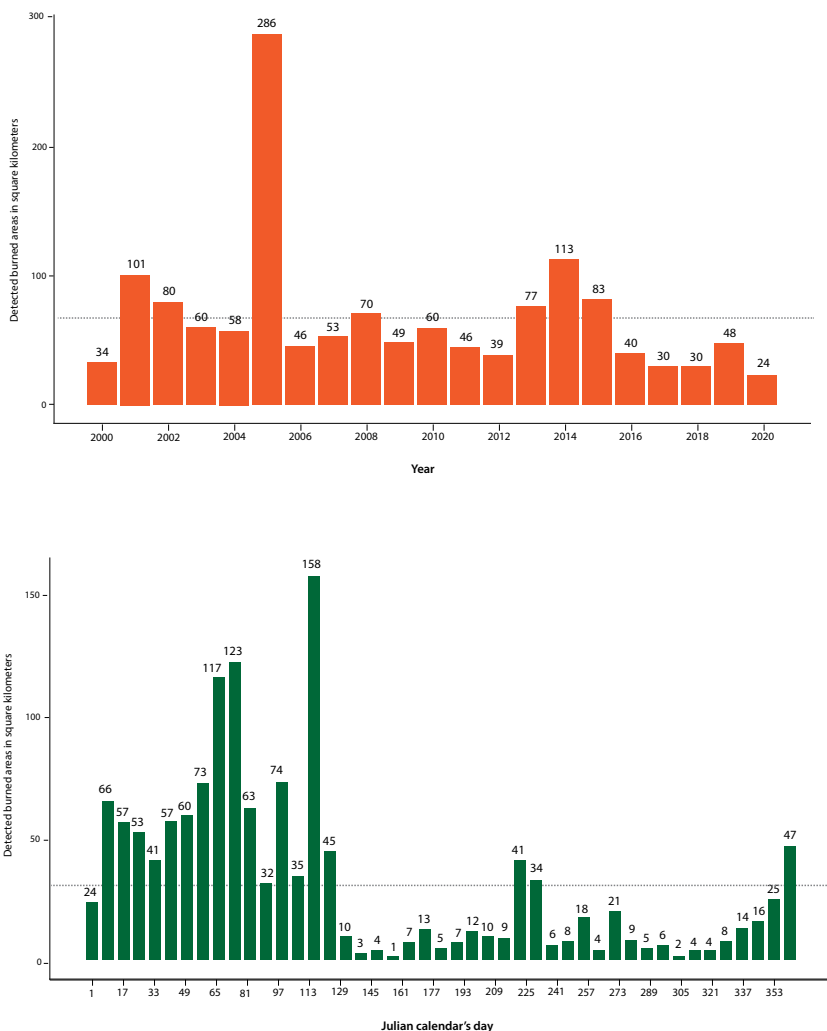
**Figure 8:** Frequency histograms of burned area per protected area. Top panel shows the total burned area for each protected area when counting each burned pixel once. Bottom panel shows the total burned area when summing the area of pixels that have been detected up to four times during 2000-2020. Three protected areas are above the average value shown as a dotted line (79.3 km<sup>2</sup> for the top panel and 159 km<sup>2</sup> for the bottom panel): José del Carmen Ramírez, Sierra de Bahoruco and Valle Nuevo. Montaña La Humeadora is the protected area where the least amount of burned areas has been detected for this time period.



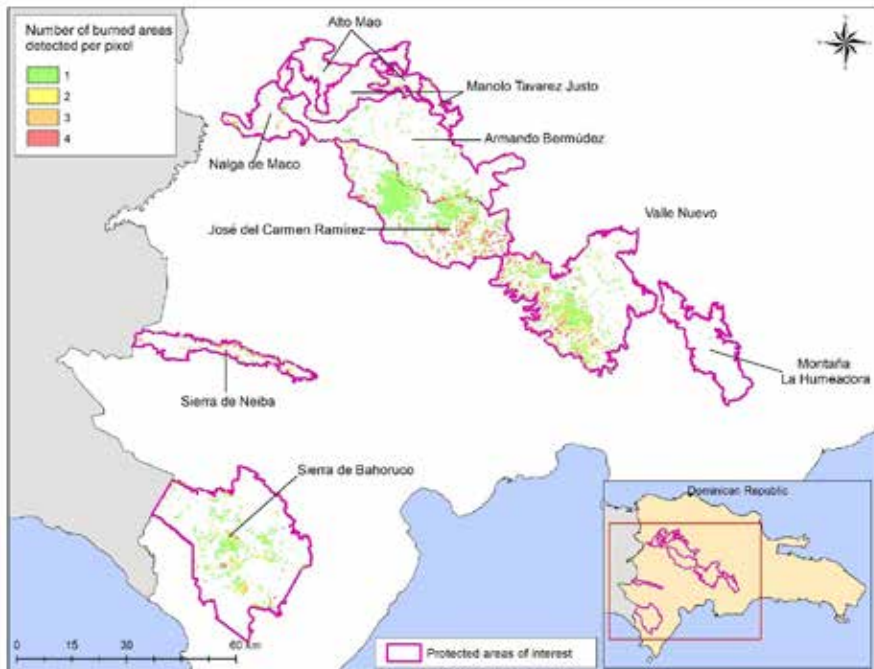
**Figure 9:** Percentage of burned areas (counted once per pixel) relative to the total studied surface per protected area. The average value shown as a dotted line is 17.9% per protected area. Sierra de Neiba is above the average value with 24.8% of its studied forest affected by fire (whereas in absolute terms it was below the average value as shown in Figure 8) along with José del Carmen Ramírez, Sierra de Bahoruco and Valle Nuevo National Parks.



**Figure 10:** Temporal frequency histograms of burned areas. Panel (a) shows the number of pixels of burned areas per year between 2000 and 2020. The dotted line shows the annual mean value for this period. Panel (b) shows the number of pixels of burned areas recorded every 8 days between 2000 and 2020. The dotted line shows the 8 days period mean value.



**Figure 11:** Number of times a pixel was detected as a burned area during the period 2000-2020. 557 km<sup>2</sup> (64.9%) have been detected as a burned area only once during this period, 134.2 km<sup>2</sup> (15.6%) twice, 60.7 km<sup>2</sup> (7%) three times and 105.7 km<sup>2</sup> (12.3%) four times. tuvieron su inicio debido a los descubrimientos de depósitos de oro en varios ríos importantes de la isla.



# **Evolución del manejo de impactos ambientales en la minería metálica dominicana: hacia las operaciones sostenibles**

DIANA M. SALCICCIA FREZZA, MSc.

## **Resumen**

La minería en la República Dominicana inició en la época colonial con el primer campamento minero colonial de explotación de oro de América, ubicado en Pueblo Viejo, Cotuí. A inicios del año 1500 se iniciaron las exportaciones de oro hacia España y con ello comenzó el desarrollo de una industria minera rudimentaria. Luego de estas operaciones continuaron otras, lo que permitió aprovechar la gran potencialidad de recursos mineros existentes en el país y generar riqueza económica y fuentes de empleos. Sin embargo, este desarrollo no fue acompañado de una gestión ambiental sostenible, acarreando grandes problemáticas ambientales y sociales y generando una predisposición ante cualquier proyecto de explotación de minería metálica.

Con la puesta en vigencia de la Ley núm. 64-00, del 8 de agosto de 2000, que crea la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales, estas operaciones se vieron en la obligación de someterse al sistema de evaluación ambiental, debiendo adecuar su manejo a sistemas de gestión ambiental en el corto y mediano plazo. En la

actualidad, las operaciones de minería metálica han revertido la tendencia de la falta de una gestión ambiental y se han certificado bajo la Norma ISO 14,001 mostrando el interés y disposición empresarial de manejar ambientalmente sus operaciones mineras.

Este documento tiene como objetivo mostrar la evolución de la minería metálica en la República Dominicana, incluyendo el análisis de los impactos ambientales generados y las posibilidades de llegar a operaciones mineras sostenibles. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica en la que se enfatiza el análisis de la gestión ambiental de las experiencias de las empresas de minería metálica.

**Palabras clave:** minería metálica dominicana, evolución de su manejo ambiental, operaciones mineras sostenibles.

## **Introducción**

La República Dominicana ha sido sede de la industria minera más antigua de América. Tuvo sus inicios durante las primeras expediciones dirigidas por Cristóbal Colón en el siglo xv. Incluso, en las ruinas de la Villa de La Isabela, provincia Puerto Plata, existe un museo con ejemplares de las herramientas originales usadas por los españoles en las primeras excavaciones de carácter minero que hicieron en la zona y, por naturaleza, fueron las primeras en América<sup>1</sup>. No debemos obviar que la mayoría de nuestras ciudades más antiguas (Santo Domingo, Santiago, La Vega; por mencionar tres) tuvieron su inicio debido a los descubrimientos de depósitos de oro en varios ríos importantes de la isla.

---

<sup>1</sup> Moya Pons, F., 1992.

La historia de la minería en la República Dominicana inició en la época colonial con lo que se considera el primer campamento minero colonial de América. En Pueblo Viejo, Cotuí, empezó el desarrollo de una industria que aplicada de forma sostenible genera grandes ingresos y mejoras en la sociedad donde se desarrolla. Yacimientos de oro, plata, ferromanganeso, bauxita, sal y larimar, por solo citar algunos, son parte de la variedad de minerales que la República Dominicana posee en toda su geografía.

El comienzo de lo que hoy es una industria se remonta al siglo xv, con la llegada de Cristóbal Colón a la isla. Colón fue el responsable del inicio de las exportaciones de oro hacia España. Existen evidencias de exportaciones realizadas por Colón valoradas en 30,000 ducados. El descubrimiento de minerales que reportaban cuantiosos beneficios dio como resultado el inicio de una industria minera rudimentaria en los primeros años de 1500. La misma tenía su centro en donde hoy se encuentra la mina de Pueblo Viejo en Cotuí, sin embargo, pocos años después la industria fue abandonada debido a las pobres condiciones y la falta de mano de obra.

Avanzado el tiempo, la minería inició como industria en 1958 con la empresa Alcoa Exploration Company, la cual extraía bauxita en Pedernales. Estos, junto a la explotación de sal y yeso en Barahona a cargo de Bestwall Gypsum Company fueron los inicios de la minería industrial en el país. En 1972 se inauguró la mina de níquel de Falconbridge Dominicana en Bonao; y en 1975, la de oro en óxidos en Pueblo Viejo, Cotuí, por parte de Rosario Resources, compañía que pasó a ser propiedad del Estado en 1979.

Con el devenir de los años, la importancia del sector minero se ha duplicado gracias a las actividades de explotación de minerales metálicos y no metálicos en todo el país. Según proyecciones de la Dirección General de Minería se estima que las reservas de minerales sean suficientes para generar riquezas por los próximos 30 años. Sin embargo, ese desarrollo no fue acompañado de la misma forma con una gestión ambiental sostenible, y producto de ello se han suscitado grandes problemáticas ambientales y sociales que han generado en el tiempo predisposición ante el intento de desarrollo de cualquier explotación minera, y en especial de la minería metálica.

En los últimos años, las exigencias del sistema de evaluación de impacto ambiental nacional y de los inversionistas internacionales han revertido la tendencia respecto de la falta de una gestión ambiental de las operaciones mineras de tipo metálicas. Es así como algunas de las empresas en operación han implementado sistemas de gestión ambiental y se han certificado con las normas ISO 14,000 con muy buenos resultados.

## **El sector minero en la República Dominicana**

La industria minera dominicana está constituida, principalmente, por las actividades extractivas de ferroníquel, oro, plata, cobre, yeso, sal, arcilla y minerales industriales (caolín, feldespato, arenas silíceas, y otras). Además, incluye las actividades de pequeña minería y minería artesanal, como rocas calizas, yeso, larimar, ámbar, lajas, más otros minerales no concesibles por la Ley Minera, principalmente arena y grava. Sin embargo, los rubros con mayor peso en el valor

agregado de la actividad minera son ferroníquel, arena, grava y gravilla, yeso, piedra caliza y mármol.

Las empresas más importantes que formaron parte del sector y que, actualmente, están fuera del mismo son las siguientes:

## **Rosario Dominicana**

En 1972, el Gobierno dominicano entrega la primera concesión comercial para la explotación minera de las reservas de Pueblo Viejo a la Nueva York and Honduras Rosario Mining Company, quien crea una filial local, Rosario Dominicana S. A.

En 1975, Rosario Dominicana inicia la explotación de oro, plata, zinc y cobre en Pueblo Viejo con una planta de molienda y lixiviación de minerales oxidados de oro y plata para producir doré.

En 1979, el Banco Central Dominicano adquiere a la Rosario Dominicana. Ese mismo año, durante el ciclón David, se desborda una de las presas de cola con los desechos tóxicos de la mina.

En 1999, la mina de la Rosario Dominicana cierra de manera permanente, debido a su mala planificación, la caída de los precios de los metales y la presión de la población local por los desastres ambientales provocados. Durante toda su operación la Rosario extrajo unos 5.5 millones de ozt de oro y unos 24 millones de ozt de plata, agotando la capa superficial de los óxidos.

## Alcoa Exploration Company

Inició sus operaciones en 1959 con exportaciones de bauxita cruda de grado metalúrgico, y cerró sus operaciones comerciales en 1985. Tuvo una producción operacional promedio de por vida de 1 millón de toneladas por año.

En los últimos quince años, el sector minero ha recibido un fuerte impulso gracias a las actividades de explotación de minerales metálicos como no metálicos, lo que ha llevado al sector a tener una participación importante en la economía, principalmente como generador de divisas, de exportaciones, y de inversión extranjera directa.

\*\*\*

La actividad minera se ha convertido en uno de los principales dinamizadores de la economía en tanto que las exportaciones de minerales, fundamentalmente de oro, se ubican entre los tres rubros más importantes para el país en los últimos años. En el país, el inicio de las operaciones de Barrick Pueblo Viejo marcó un antes y un después en el desempeño del sector minero y su impacto sobre la economía dominicana.

En el sector minero dominicano coexisten, en la actualidad, empresas grandes de capital internacional, fundamentalmente en el sector de la minería metálica, con empresas locales y pequeños productores que participan en la explotación de las riquezas de minerales metálicos y no metálicos del país.

En el sector de la **minería metálica** resaltan las empresas:

**Xstrata Nickel-Falcondo** (anterior Falconbridge Dominicana; en la actualidad, Americano Nickel), que opera en el país desde 1972, con una planta pirometalúrgica para producir ferroníquel. Reinició en 2011 sus operaciones luego de haber cerrado de manera temporal en 2008 debido a las condiciones del mercado internacional que habían presionado a la baja el precio del mineral. Desde el año 2014 es propiedad de la empresa Americano Nickel.

**Corporación Minera Dominicana (CORMIDOM)**, subsidiaria de la australiana Perilya Unlimited, que desde 2008 tiene el proyecto de cobre, oro y plata en Cerro Maimón, ubicado en el Municipio de Maimón en la provincia de Monseñor Nouel. Esta empresa ha iniciado operaciones en la primera mina subterránea del país para la extracción de minerales metálicos.<sup>2</sup>

**Barrick Pueblo Viejo (Pueblo Viejo Dominicana Corporation)**. En el año 2003 el gobierno firma un contrato con la empresa canadiense **Placer Dome** para continuar la explotación de las reservas mineras de los sulfuros en Pueblo Viejo. Así adquiere la antigua empresa estatal Rosario Dominicana. En el 2006 Barrick adquiere a Placer Dome, y poco después **Goldcorp** compra un 40 por ciento de las acciones de **Pueblo Viejo Dominicana Corporation (PVDC)**, la filial local creada para operar la mina. Con los

---

<sup>2</sup> <https://eitird.mem.gob.do/informe-eiti-rd/producciony-exportacion/produccion-minera-dominicana/>

nuevos dueños la inversión anunciada incrementa a 3,500 millones de dólares. En el año 2008 Barrick PVDV inicia las actividades de construcción de la nueva mina y la remediación ambiental. Barrick PVDC inicia en el año 2013 la extracción de oro y plata en la mina de Pueblo Viejo y en Cotuí, provincia Sánchez Ramírez.

**Envirogold**, subsidiaria de la australiana Panterra, que inició sus operaciones en mayo de 2012 para la explotación de oro y plata de la presa de cola de la antigua Rosario Dominicana en Las Lagunas en Cotuí.

Según el informe de EITI-RD<sup>3</sup>, con respecto a los minerales metálicos, la producción nacional ha experimentado un importante crecimiento durante el período 2010-2020, destacándose las variaciones positivas del oro y la plata. Además de estos dos productos minerales, la producción metálica nacional ha estado representada por el ferróniquel, el cobre, el zinc y la bauxita.

En el caso del oro, la producción en ozt troy pasó de 17,131 ozt en el año 2010 a 905,175 ozt en el año 2020, lo que supone un crecimiento de 5,184 %. La producción de plata, por su parte, pasó de 733,550 ozt en 2010 a 2,825,704 ozt en 2020, equivalente a un crecimiento del 285 %.

Para la bauxita, en los años 2014 y 2015 se registraron volúmenes cercanos y por encima al 1,000,000 de TM;

---

<sup>3</sup> Iniciativa para la transparencia de industrias extractivas. <https://eitird.mem.gob.do/informe-eiti-rd/produccion-y-exportacion/produccion-minera-dominicana/>

descendiendo a 7,318 TM en 2016, y sin registrarse producción de este metal durante los años comprendidos entre 2017-2019. Finalmente, en 2020, se obtiene una producción de 9,475 TM

De su lado, el ferroníquel registró producción para los años que van desde 2011 hasta 2013 y del 2016 al 2020, reflejando un promedio anual de 45,639 TM.

Durante 2019 y 2020 la producción consolidada de minerales metálicos se distribuyó de la siguiente manera: 1,927,602 ozt de oro; 6,320,000 ozt de plata; 137,873 TM de ferroníquel; 9,475 TM de bauxita; 8,240 TM de cobre y 7,888 TM de zinc. Con base en el precio promedio de exportación se calcula un valor económico en dólares ascendente a 1,598 millones de oro, 232 millones de ferroníquel, 56 millones de plata, 14 millones de cobre y 6 millones de zinc. Los minerales metálicos registraron descensos en su producción de 2020, con excepción de la bauxita, que luego de mantenerse sin producción desde 2017 hasta 2019 presentó cierta reactivación en 2020.

En adición a estos proyectos de explotación hay varios de exploración de oro a cargo de empresas extranjeras, principalmente canadienses en la zona de Restauración, Dajabón, San Juan y en las cercanías de Pueblo Viejo.

En cuanto a la **minería no metálica**, existen más de 50 empresas de operaciones no metálicas. Ese grupo incluye siete fábricas de cemento Portland, cinco de carbonato de calcio y cal, tres de yeso, cuatro de cerámica y baños, 19 de agregados y calizas y 12 de rocas ornamentales, así como empresas que extraen las piedras semipreciosas larimar y ámbar (Figura 1).

Figura 1. Industria minera dominicana



Fuente: <http://www.barrick.com>

A partir del reinicio de la explotación de la mina de oro de Pueblo Viejo en el 2012, el aporte sectorial al PIB registró una recuperación significativa. Según datos del Banco Central<sup>4</sup>, el mayor peso económico de las exportaciones en el país lo aportan las exportaciones minerales, que en el 2021 alcanzaron US\$ 2,881 millones. De esa cantidad, el 58.1 % (1,676 millones) correspondió a doré (oro y plata), con una mayor cantidad y valor en oro. Lo anterior indica que las exportaciones minerales representan el 23.1% de las exportaciones totales del país. En tanto que, las de doré, aportadas, principalmente, por la minera Barrick Pueblo Viejo, ubicada en la provincia Sánchez Ramírez, aportan el 13.4 % de las exportaciones totales (Figura 2).

El aporte de la actividad minera al empleo es apreciable; en el periodo 2015-2020 generó alrededor de 23,084 empleos directos. A su vez, la generación de empleos tiene un efecto multiplicador, pues por cada empleo generado por la actividad del sector minero metálico se crearon 63 empleos adicionales a través de toda la cadena de valor<sup>5</sup>. Las remuneraciones del personal ocupado en el sector minero son superiores en un 12 % al promedio nacional debido a los factores de riesgo y distancias asociados al desarrollo de esta actividad. Las provincias donde la producción minera ha tenido un impacto significativo, tanto en creación de riqueza como de empleos, han sido Monseñor Nouel y Sánchez Ramírez; aunque existen explotaciones en otras provincias.

---

<sup>4</sup> Periódico *El Dinero*, 7 de abril de 2022.

<sup>5</sup> Cámara Minera Petrolera de la República Dominicana. 2022.

Figura 2. Exportaciones del sector minero dominicano 2010-2020

**EXPORTACIONES SECTOR MINERO REP. DOM.**  
PERIODO 2010-2020  
(En millones de US\$ y %)

| Detalle                           | Enero - Diciembre |              |              |                |                |                |                |                |                |                | Total          | %               |              |  |  |  |
|-----------------------------------|-------------------|--------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|--------------|--|--|--|
|                                   | 2010              | 2011         | 2012         | 2013           | 2014           | 2015           | 2016           | 2017           | 2018           | 2019           |                |                 | 2020         |  |  |  |
| <b>Minerales</b>                  |                   |              |              |                |                |                |                |                |                |                |                |                 |              |  |  |  |
| Oro                               | 20.1              | 25.0         | 174.7        | 1,190.6        | 1,544.8        | 1,227.3        | 1,575.3        | 1,456.7        | 1,360.6        | 1,544.3        | 1,675.5        | 11,794.9        | 77.9         |  |  |  |
| Ferromanganeso                    | -                 | 290.2        | 267.3        | 157.3          | -              | -              | 90.9           | 153.6          | 233.8          | 383.4          | 231.2          | 1,807.7         | 11.9         |  |  |  |
| Cobre                             | 69.6              | 104.7        | 103.9        | 80.9           | 66.2           | 38.3           | 48.8           | 54.3           | 59.8           | 26.8           | 16.1           | 666.4           | 4.4          |  |  |  |
| Plata                             | 12.7              | 17.4         | 25.6         | 60.4           | 84.1           | 49.9           | 68.4           | 82.7           | 86.4           | 54.4           | 56.9           | 598.9           | 4.0          |  |  |  |
| Bauxita                           | -                 | -            | 0.3          | 20.2           | 30.5           | 27.6           | 3.4            | 0.1            | 0.2            | 0.2            | -              | 82.5            | 0.5          |  |  |  |
| Piedra caliza                     | 2.8               | 2.3          | 4.6          | 5.6            | 6.3            | 2.1            | 7.6            | 3.9            | 10.0           | 10.8           | 6.8            | 62.8            | 0.4          |  |  |  |
| Zinc                              | -                 | -            | -            | -              | -              | 7.6            | 8.0            | 10.4           | 9.0            | 13.3           | 5.1            | 53.4            | 0.4          |  |  |  |
| Otros minerales                   | 8.5               | 9.7          | 5.6          | 8.5            | 5.2            | 5.8            | 7.8            | 5.3            | 7.9            | 9.3            | 9.2            | 82.8            | 0.5          |  |  |  |
| <b>Exportaciones de Minerales</b> | <b>113.7</b>      | <b>449.3</b> | <b>582.0</b> | <b>1,523.5</b> | <b>1,737.1</b> | <b>1,358.6</b> | <b>1,807.2</b> | <b>1,767.0</b> | <b>1,767.7</b> | <b>2,042.5</b> | <b>2,000.8</b> | <b>15,149.4</b> | <b>100.0</b> |  |  |  |

Fuente: Elaboración a partir de Tabla publicada por el Banco Central de la República Dominicana

Fuente: <http://www.barrick.com>

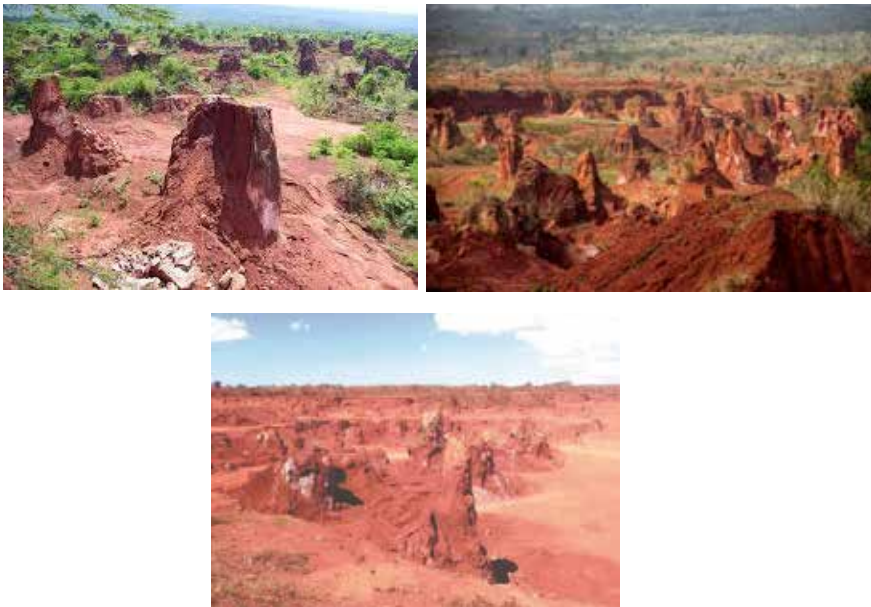
## **Impactos ambientales históricos de la minería en la República Dominicana**

Antes del año 2000 existían tres empresas que habían operado sin cumplir los requisitos ambientales. A saber:

### **Alcoa Exploration Company desde el año 1959** Condiciones ambientales

En el año 1985 la empresa cerró sus operaciones, y dejó un pasivo ambiental en los depósitos de bauxita. Estos depósitos abiertos, descapotados y erosionados se encuentran presentes desde el tiempo de la explotación minera.

**Figura 3.** Operación de extracción de bauxita



**Fuente:** <https://eitird.mem.gob.do/informe-eiti-rd/produccion-y-exportacion/produccion-minera-dominicana/>

En el acuerdo transaccional entre el Estado dominicano y la empresa Sierra Bauxita S. A., el Estado reconoce el pasivo ambiental dejado por la empresa Alcoa Exploration Company como una responsabilidad del Estado y descarga esta nueva empresa de los gastos de remediación ambiental (Figura 3).

### **Falconbridge Dominicana desde el año 1972 (en la actualidad Americano Nickel)**

#### Condiciones ambientales

Según informaciones del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, para el año 2002 la empresa no había cumplido con la totalidad de su compromiso del plan de remediación ambiental, fundamentalmente en lo concerniente a la forestación.

**Figura 4.** Emisiones producidas por la empresa Falconbridge Dominicana



**Fuente:** <https://listindiario.com/economia/2012/12/07/257813/reclamaran-a-la-alcoa-remediacion-ambiental.html>

Esta sólo ha recuperado el 40 % de la cobertura boscosa. Adicionalmente, la empresa no estaría realizando cierres recurrentes, que implican la recuperación por áreas y concomitantemente con la explotación (Figura 4).

## **Rosario Dominicana**

### Condiciones ambientales

Los depósitos de óxido de Pueblo Viejo fueron explotados por Rosario Dominicana desde 1975 hasta su agotamiento en 1999, año en que la mina y la planta finalizaron sus operaciones, dejando en total abandono sus instalaciones.

El principal efecto negativo ambiental que se encontró en el entorno local de Pueblo Viejo fue el drenaje de aguas ácidas de roca, producto de antiguas operaciones mineras.

Entre los años 1998 y 2007 en Cotuí se hablaba del “río de sangre” dejado por la empresa Rosario Dominicana. Un río que, impactado por una alta contaminación, cambió el color de sus aguas de un azul cristalino a un rojo intenso. Ese es el río Margajita, un río de unos seis kilómetros de largo que bordea la zona de Pueblo Viejo y desemboca en la presa de Hatillo, el cuerpo más grande de agua dulce en la República Dominicana.

Esta situación se debe a que la mina de oro de Pueblo Viejo, en Cotuí, fue formada por la naturaleza con minerales de óxidos de oro en el tope del yacimiento y de sulfuros de oro en la zona inferior. En 1975, la empresa Rosario Dominicana inició sus operaciones con una planta de molienda y lixiviación de minerales oxidados de oro y plata para producir doré. Esta empresa, luego de haber consumido todo el mineral en forma de óxido concluyó sus operaciones

comerciales en 1999. Al concluir sus operaciones, dejó expuestos a la superficie los sulfuros y se retiró de la zona sin la remediación ambiental adecuada, permitiendo que desde la mina drenaran aguas ácidas de roca hasta el río Margajita, producidas por la mezcla del agua de lluvia y el mineral de los sulfuros de oro que quedó al descubierto.

La zona de Pueblo Viejo es una zona de alta pluviometría (con una media anual de aproximadamente 2,000 mm), lo que provocó que permanentemente se generaran grandes volúmenes de aguas ácidas al entrar en contacto el agua de lluvia con el mineral sulfuroso, provocando que esas aguas, cargadas de metales pesados, contaminaran las zonas vecinas. Por consiguiente, y bajo esa situación, cuando ocurrían fuertes lluvias, aparecía una gran cantidad de peces muertos flotando en la presa de Hatillo.

La Academia de Ciencias de la República Dominicana ha expuesto que desde 1980 más de un metro cúbico por minuto en promedio de aguas contaminadas, debido a las operaciones anteriores de Rosario Dominicana, corrían por el río Margajita hasta la presa de Hatillo. Esta presa desempeña múltiples funciones sociales y servicios ambientales, ya que de ella obtienen el sustento más de 350 pescadores y sus familias; genera ocho megavatios de energía; suple varios acueductos; se irrigan más de 500,000 tareas de tierra; es un centro de esparcimiento y lugar para la práctica de deportes acuáticos y otras actividades. Esta presa se encontraba en un grave peligro al recibir constantes descargas de agua ácida.

Además del impacto negativo significativo que fue para el área de Pueblo Viejo y su zona de influencia la generación

constante de aguas ácidas aun después del cierre de operaciones de la empresa Rosario Dominicana, en el área directa de la explotación minera quedaron expuestos numerosos residuos peligrosos como mercurio, reactivos químicos y cianuro que generaron una contaminación directa a los suelos y aguas subterráneas (Figura 5). A su vez, los residuos de colas del procesamiento del oro y plata fueron dispuestos sin control al río Mejita, el cual había sido represado con el objeto de que funcionara como una presa de colas (Figura 6). A esto se le suma la inexistencia del proceso de cierre y reclamación de área dejando taludes expuestos sin vegetación (Figura 7).

**Figura 5.** Aguas contaminadas del arroyo Margajita entrando a la Presa de Hatillo



**Fuente:** <http://www.barrick.com>

**Figura 6.** Aguas ácidas en la presa de colas de Mejita en Rosario Dominicana



Fuente: <http://www.barrick.com>

**Figura 7.** Frentes mineros sulfurosos de Rosario Dominicana



Fuente: <http://www.barrick.com>

Cuando la empresa Pueblo Viejo Dominicana Corporation (Barrick PVDC) adquirió los derechos de explotación de la mina de Pueblo Viejo, los términos del Contrato Especial de Arrendamiento indicaban que el Gobierno dominicano era responsable del saneamiento ambiental de los impactos históricos asociados a la operación anterior de la antigua mina (pasivos ambientales). No obstante, Barrick, basada en su compromiso de hacer minería responsable, implementó un plan de manejo ambiental conforme a estándares internacionales y en cumplimiento de la normativa ambiental del país, con el objeto de mejorar la calidad de las aguas en la zona y rehabilitar las tierras.

## **El impacto ambiental esperado en la minería metálica**

Según Kussmaul (1989)<sup>6</sup>, el impacto ambiental provocado por cualquier actividad minera está relacionado con cuatro factores principales:

1. **Tamaño de la explotación**, que se refiere al volumen de producción de la explotación, el cual tiene como consecuencia una determinada dimensión de actividades y producción de desechos y aguas residuales.

2. **Localización**, que se refiere al sitio en el que se lleva a cabo la explotación, las poblaciones aledañas y la naturaleza de la topografía local.

3. **Métodos de explotación**, que dependen del tipo de yacimientos a explotar y que están directamente relacionados

---

<sup>6</sup> Kussmaul, S., 1989.

con la naturaleza y extensión del impacto. Se utilizan tres métodos principales:

- a. Minería a cielo abierto (o minería superficial).
- b. Minería subterránea.
- c. Minería por lavado y dragado.

**4. Características de los minerales y de su beneficio**, que se refiere al hecho de que la naturaleza del mineral determina el tratamiento a sufrir. Los minerales se pueden dividir en:

- a. Minerales no metálicos (como los materiales de construcción), que requieren poco tratamiento físico, como por ejemplo trituración y molienda, y que no requieren ningún tratamiento químico.
- b. Minerales metálicos, que requieren generalmente un alto nivel de procesamiento, así como el empleo de muchos reactivos químicos, y que generan grandes cantidades de desechos finos.

Las actividades mineras comprenden diversas etapas, cada una de las cuales conlleva impactos ambientales particulares. En un sentido amplio, estas etapas serían las siguientes:

- a. Prospección y exploración de yacimientos.
- b. desarrollo y preparación de las minas.
- c. Explotación de las minas.
- d. Tratamiento de los minerales obtenidos en instalaciones respectivas con el objetivo de obtener productos comerciables.

Las siguientes actividades son las posibles causas de impacto ambiental durante la fase de exploración:

- a. Preparación de los caminos de acceso.
- b. Mapeos topográficos y geológicos.
- c. Montaje de campamentos e instalaciones auxiliares.
- d. Trabajos geofísicos.
- e. Investigaciones hidrogeológicas.
- f. Aperturas de zanjas y pozos de reconocimiento.
- g. Tomas de muestras.

Durante la fase de explotación, los impactos que se producen resultan en función del método utilizado. Los principales impactos ambientales causados por la minería a cielo abierto (MCA) en su fase de explotación son los siguientes:

1. **Afectación de la superficie:** la MCA devasta la superficie, modifica severamente la morfología del terreno, apila y deja al descubierto grandes cantidades de material estéril, produce la destrucción de áreas cultivadas y de otros patrimonios superficiales, puede alterar cursos de aguas y formar grandes lagunas para el material descartado.
2. **Afectación del entorno en general:** la MCA transforma radicalmente el entorno, pierde su posible atracción escénica y se ve afectado por el ruido producido en las distintas operaciones, como por ejemplo en la trituración y en la molienda, en la generación de energía, en el transporte y en la carga y descarga de minerales y de material estéril sobrante de la mina y del ingenio.
3. **Contaminación del aire:** el aire puede contaminarse con impurezas sólidas, por ejemplo, polvo y combustibles tóxicos o inertes, capaces de penetrar hasta los pulmones, provenientes de diversas fases del

proceso. También puede contaminarse el aire con vapores o gases de cianuros, mercurio, dióxido de azufre contenidos en gases residuales, procesos de combustión incompleta o emanaciones de charcos o lagunas de aguas no circulantes con materia orgánica en descomposición.

4. **Afectación de las aguas superficiales:** los residuos sólidos finos provenientes del área de explotación pueden dar lugar a una elevación de la capa de sedimentos en los ríos de la zona. Diques y lagunas de oxidación mal construidas o mal mantenidos o inadecuado manejo, almacenamiento o transporte de insumos (como combustibles, lubricantes, reactivos químicos y residuos líquidos) pueden conducir a la contaminación de las aguas superficiales.
5. **Afectación de las aguas subterráneas o freáticas:** aguas contaminadas con aceite usado, con reactivos, con sales minerales provenientes de las pilas o botaderos de productos sólidos residuales de los procesos de tratamiento, así como aguas de lluvia contaminadas con contenidos de dichos botaderos, o aguas provenientes de pilas o diques de colas, o aguas de proceso contaminadas, pueden llegar a las aguas subterráneas. Además, puede haber un descenso en los niveles de estas aguas subterráneas cuando son fuente de abastecimiento de agua fresca para operaciones de tratamiento de minerales.
6. **Afectación de los suelos:** la MCA implica la eliminación del suelo en el área de explotación y produce un resecamiento del suelo en la zona circundante, así como una disminución del rendimiento agrícola

y agropecuario. También, suele provocar hundimientos y la formación de pantanos en caso de que el nivel de las aguas subterráneas vuelva a subir. Además, provoca la inhabilitación de suelos por apilamiento de material sobrante.

7. **Impacto sobre la flora:** la MCA implica la eliminación de la vegetación en el área de las operaciones mineras, así como una destrucción parcial o una modificación de la flora en el área circunvecina, debido a la alteración del nivel freático. También, puede provocar una presión sobre los bosques existentes en el área que pueden verse destruidos por el proceso de explotación o por la expectativa de que este tenga lugar.
8. **Impacto sobre la fauna:** la fauna se ve perturbada o ahuyentada por el ruido, la contaminación del aire y del agua y la elevación del nivel de sedimentos en los ríos. Además, la erosión de los amontonamientos de residuos estériles puede afectar particularmente la vida acuática. Puede darse también envenenamiento por reactivos residuales contenidos en aguas provenientes de la zona de explotación.
9. **Impacto sobre las poblaciones:** la MCA puede provocar conflictos por derechos de utilización de la tierra, dar lugar al surgimiento descontrolado de asentamientos humanos ocasionando una problemática social y destruir áreas de potencial turístico. Puede provocar una disminución en el rendimiento de las labores de pescadores y agricultores debido al envenenamiento y cambios en el curso de los ríos por la elevación de nivel por sedimentación. Por otra parte,

la MCA puede provocar un impacto económico negativo por el desplazamiento de otras actividades económicas locales actuales o futuras.

10. **Cambios en el microclima:** la MCA puede causar cambios en el microclima y puede provocar una multiplicación de agentes patógenos en charcos y áreas cubiertas por aguas estancadas.
11. **Impacto escénico posterior a la explotación:** la MCA deja profundos cráteres en el paisaje. Su eliminación puede conllevar costos tan elevados que puedan impedir la explotación misma.

## **Sistema de Evaluación de Impactos Ambientales en la República Dominicana**

A partir del año 2000, la República Dominicana cuenta con la Ley núm. 64-00, que crea la Secretaría de Estado [hoy Ministerio] de Medio Ambiente y Recursos Naturales. A partir de esta ley se crea dicho organismo y, también, el Sistema de Evaluación de Impactos Ambientales.

Este sistema rige para toda obra, proyecto o actividad que desee construirse y operar en el territorio nacional. En ese contexto, cualquier emprendimiento deberá obtener una autorización ambiental (licencia o permiso ambiental) para construir u operar que será otorgada a partir de un estudio ambiental (estudio de impacto ambiental o declaración de impacto ambiental) presentado por el promotor del proyecto y evaluado por el equipo técnico del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. En estos casos, el promotor del proyecto presenta su expediente ante el Ministerio con la descripción y localización del proyecto y el Ministerio

realiza una primera inspección técnica para evaluar el proyecto en el sitio propuesto. Luego, emite los términos de referencias (TdR) para la realización del estudio ambiental y el promotor contrata un equipo de prestadores de servicios ambientales que realizan dicho estudio y lo entregan ante el ministerio. Con base en dicho estudio el comité recomienda la emisión o no de la autorización ambiental.

Una vez que el proyecto es autorizado a ser construido y operado, el promotor debe continuar enviando reportes semestrales acerca del cumplimiento ambiental del Programa de Manejo y Adecuación Ambiental aprobado en dicha autorización.

Bajo este panorama institucional las empresas mineras que al 2000 estaban en operación, debieron adecuarse al sistema de gestión ambiental; y aquellas que comenzaron luego de esa fecha debieron hacerlo solicitando la debida autorización.

En este sentido, la situación de las empresas mineras anteriormente citadas tuvo diversos caminos:

1. **Rosario Dominicana:** finalizó sus operaciones en 1999 antes de la promulgación de la Ley núm. 64-00 y no se hizo cargo del cierre minero ni de la remediación de sus pasivos ambientales.
2. **Alcoa Exploration Company:** finalizó sus operaciones en 1985 antes de la promulgación de la Ley núm. 64-00 y no se hizo cargo del cierre minero ni de la remediación de sus pasivos ambientales.
3. **Xstrata Nickel-Falcondo** (anterior Falconbridge Dominicana y, en la actualidad, Americano Nickel): debido a que esta empresa comenzó a operar mucho antes de la promulgación de la Ley núm. 64-00 no

contaba con su autorización ambiental. El reglamento de evaluaciones ambientales indicaba para el 2001, que aquellas instalaciones anteriores a la ley debían obtener un permiso ambiental a partir de un informe ambiental con un programa de manejo y adecuación ambiental que presentara las medidas de prevención, corrección y mitigación de impactos ambientales de sus operaciones. La empresa realizó dicha evaluación ambiental y, para el año 2004, obtuvo su permiso ambiental. Para el año 2021 obtuvo la recertificación de la Gestión Ambiental de sus operaciones bajo la norma ISO 14001:2015, que implica su compromiso con la protección del medioambiente y con las mejores prácticas de la minería responsable.<sup>7</sup>

4. **Corporación Minera Dominicana (CORMIDOM):** el proyecto de esta mina se inició posterior a la Ley núm. 64-00, por lo que siguió los pasos descritos en el Reglamento de Evaluaciones Ambientales y obtuvo su licencia ambiental en el año 2004.
5. **Barrick Pueblo Viejo (Pueblo Viejo Dominicana Corporation):** inicialmente, la empresa canadiense Placer Dome solicitó la licencia ambiental para continuar la explotación de las reservas mineras de los sulfuros Pueblo Viejo, para lo cual presentó el Estudio de Impacto Ambiental y obtuvo su Licencia Ambiental en el 2006. Cuando Barrick adquiere a Placer Dome (y poco después Goldcorp compra un 40 por ciento de las acciones) modifica el contrato especial con el Estado y con él, la licencia ambiental.

---

<sup>7</sup> FALCONDO. 2021.

6. **Envirogold:** El proyecto de esta mina también surgió posterior a la Ley núm. 64-00, por lo que siguió los pasos descritos en el Reglamento de Evaluaciones Ambientales y obtuvo su licencia ambiental en el año 2006.

Todas las instalaciones mineras que obtuvieron su autorización ambiental y están en operación en la actualidad, presentan sus informes de cumplimiento ambiental requeridos en dichas autorizaciones.

## **Situación ambiental actual en la minería metálica en la República Dominicana: manejo del impacto ambiental**

El suelo dominicano cuenta con una gran riqueza en minerales metálicos, tales como oro, plata, cobre, bauxita y níquel, cuyas extracciones y procesamiento se realizan a través de métodos diferentes. Dos mineras emplean el cianuro y otras usan técnicas con base en la fuerza del calor, el agua y el aire.

Al centro del país está lo que se conoce como el distrito minero, donde operan tres minas y una recicladora minera. Barrick Gold PVDC, Falcondo, Cormidom y Las Lagunas son las cuatro mineras que buscan metales en las provincias La Vega, Sánchez Ramírez y Monseñor Nouel (Figura 8). En el sur, en la provincia de Pedernales se encuentra Dovemco extrayendo la bauxita que queda de una anterior explotación realizada por la empresa Alcoa. Por su parte, Barrick PVDC y Las Lagunas o Envirogold recuperan el mineral que no pudo aprovechar Rosario Dominicana, la minera estatal que fue operada de manera poco eficiente.

**Figura 8.** Distrito minero en el centro del país: mina de ferroníquel de Falcondo, minas de oro de Pueblo Viejo, Las Lagunas y Cerro Maimón (cobre, oro y plata)



**Fuente:** elaboración propia en base a Google Earth TM.

El tipo de operación de **Barrick Gold PVDC** consiste en extraer los sulfuros a cielo abierto que luego son triturados para pasar a proceso de fusión en hornos que trabajan a temperatura entre los 1,300 y 1,400 grados centígrados donde resultan barras de doré con un peso promedio entre 100 y 120 kilos, en una alineación de 75 % de plata y 25 % de oro (doré). Un promedio de 150,000 toneladas de sulfuros se mina por día. Barrick PVDC es el proyecto minero más grande del país con una inversión de más de US\$ 4,000 millones. Tiene más de 2,000 empleados (Figura 9).

**Figura 9.** Instalaciones de Barrick



Fuente: <http://www.barrick.com>

Con respecto al uso del cianuro en las operaciones, este es un químico que está compuesto por carbono e hidrógeno que se usa en la industria para la recuperación del oro de una masa más grande del mineral rocoso. En la mina de Pueblo Viejo, que opera la Barrick, este químico llega a la planta en forma sólida (briquetas). El material extraído es disuelto con el cianuro y se obtiene un lodo que contiene el oro y la plata y se lleva a refinación o fundición. Luego, el cianuro usado es destruido en un circuito cerrado, transformándose en material inerte, siguiendo los lineamientos del Código Internacional del Cianuro, con el cual la empresa está certificada. Este químico solo está presente en el almacén en áreas cercadas, cerradas y de acceso restringido, y en la planta de proceso en una zona de alta seguridad.

El **proyecto de Las Lagunas** (Envirogold) consiste en reciclar los residuos mineros dejados por la Rosario Dominicana, pero que contienen oro y plata. El área del proyecto tiene una extensión de 1,575,519 metros cuadrados en la comunidad Las Lagunas, ubicada en la provincia Sánchez Ramírez. Tienen más de 300 empleados.

Las Lagunas es una laguna en la que la antigua Rosario Dominicana depositó colas de su proceso, que en ese tiempo era muy ineficiente, pero botaba mucho oro, entonces el lodo que hay acumulado ahí tiene entre 3 y 4 toneladas de oro. La ventaja de este proyecto es que es una remediación ambiental porque la laguna está contaminada con azufre, metales pesados y, a través del proceso, la están limpiando, le están sacando el oro y la plata y le están devolviendo el neutralizado (Figura 10).

Figura 10. Proyecto Las Lagunas en operación



Fuente: <http://www.barrick.com>

Este material no aprovechado fue depositado en la presa de colas entre los años 1992 y 1999, y tiene un volumen de 5,1 millones de toneladas. Estos residuos tienen un alto contenido de azufre, arsénico y antimonio. Esos químicos pueden contaminar las aguas y causar daños al ambiente. Por cada tonelada de esos residuos se extraen 3.76 gramos de oro y 38.62 de plata.

El proceso consiste en el reciclaje o reprocesamiento del material a través de la succión con dragas para luego pasar a un sistema de molienda ultra fina con la adición de caliza para neutralizar los ácidos. Después de la molienda el mineral pasa al proceso Albión, que consiste en tecnología con presión atmosférica y oxígeno para oxidar el material, es decir, que pasa de sulfuro a óxido en 24 horas, lo que a la naturaleza le tomaría un tiempo de más o menos un millón de años. Una vez oxidado el material pasa por el circuito

de carbón activado para recuperar los metales, los cuales se funden en la refinería para producir un doré con 90 % de plata y 10 % de oro aproximadamente.

Las nuevas colas oxidadas son llevadas por tubería a otro espesador, desde donde se descargan en la misma presa de colas en áreas donde ya se han extraído los restos sulfurosos con divisiones construidas para evitar la dilución. Esto se realiza en un circuito cerrado sin efluentes, resultando unas nuevas colas oxidadas e inertes. En Las Lagunas también usan cianuro que después destruyen en un circuito interno, de acuerdo al código internacional para esos fines, según indica la empresa minera. Al cierre de las operaciones se espera que termine la generación de agua ácida para siempre y los residuos contaminados sean materia inerte.

El 31 de diciembre de 2019 culminó el período de operaciones industriales de EnviroGold Las Lagunas, el cual comprendía la extracción, beneficio, fundición y comercialización de los minerales recuperados. Vencido este período, inició el período de cierre del proyecto con una duración de 12 meses<sup>8</sup>.

Asimismo, la **Corporación Minera Dominicana** (Cormidom) desarrolla un proyecto de minería a mediana escala en la comunidad Los Martínez, provincia Monseñor Nouel. Opera desde el año 2008 con una inversión de 100 millones de dólares. Cuenta con 710 empleados.

La concesión tiene una extensión de 3,400 hectáreas. En una primera fase fue una mina a cielo abierto donde se procesaron sulfuros que resultaron en un concentrado de cobre con

---

<sup>8</sup> Contrato especial para la evaluación, explotación y beneficio de la presa de colas Las Lagunas.

subproductos de oro y plata. Su proceso industrial consistió en la extracción de minerales sulfurados que son triturados y, luego, con presión de aire y agua, se obtiene un concentrado que es exportado a otros países donde es refinado.

Los drenajes ácidos van a parar a una laguna donde son neutralizados y devueltos al ambiente en condiciones óptimas. Esa laguna se ha convertido en un reservorio productor de agua limpia al recoger el agua lluvia que cae en la mina, tratarla y drenar al ambiente tres veces más agua limpia que la que necesitan para su proceso. Estos son ejemplos de la tecnología aplicada por la minería para controlar sus impactos en el medio ambiente (Figuras 11 y 12).

**Figura 11.** Presa de colas en la mina de Cerro Maimón



**Fuente:** <https://www.cormidom.com.do>

**Figura 12.** Revegetación de taludes en la mina de Cerro Maimón



**Fuente:** <https://www.cormidom.com.do>

A partir de 2019, la Corporación Minera Dominicana (Cormidom) inauguró la primera operación subterránea del país, dejando atrás el antiguo modelo de explotación a cielo abierto. La nueva mina, denominada “Cerro de Maimón Sur”, proyecta un rendimiento nominal de 1.2 millones de toneladas de mineral por año, lo que generará más de 2,000 millones de dólares por la comercialización de minerales. Debido a esta operación, que extendería la vida útil de la mina hasta el 2032, se espera que la mina estará produciendo 20,000 toneladas de concentrado de cobre y 20,000 toneladas de concentrado de zinc por año cuando se alcance el punto de producción máxima.<sup>9</sup>

## **Actividades de manejo ambiental certificado para operaciones mineras sostenibles. Caso: Barrick Pueblo Viejo (Pueblo Viejo Dominicana Corporation)**

### **Remediación ambiental**

Los trabajos de remediación ambiental dentro del proyecto minero de Barrick Pueblo Viejo han sido trabajos de investigación, clasificación y eliminación de los sulfuros dejados históricamente a la intemperie por Rosario Dominicana y dar paso a la ardua labor de remediación y gestión ambiental.

---

<sup>9</sup> Cormidom inaugura primera mina subterránea de RD. Recuperado de: <https://eldinero.com.do/76048/cormidom-inaugura-primera-mina-subterranea-de-rd/>

El éxito de estos trabajos se debe a varias medidas tomadas:

1. **La implementación de taludes revegetados** con la tecnología de mantas de coco y cortina de sedimentación utilizados en el control de la erosión de los suelos, y el sembradío de 20,000 plantas de 17 especies mensualmente dentro de la mina, entre las cuales vale la pena mencionar el pino, la ceiba, la caoba criolla, el flamboyán, la javilla, el aguacate y la palma areca. La empresa tiene su propio vivero dentro de las instalaciones (Figuras 13 y 14).

**Figura 13.** Reforestación con cortinas de sedimentación



Fuente: <http://www.barrick.com>

Figura 14. Vivero dentro de PVDC



Fuente: <http://www.barrick.com>

2. **Construcción de una presa de colas.** Una de las obras de infraestructura más relevantes del proyecto Pueblo Viejo fue la construcción de la presa de colas que se ubica al sur de la mina en la zona del Valle El Llagal. Su concreción implicó la reubicación de las comunidades de El Llagal, Fátima y Los Cacaos, por ello, la empresa trabajó junto a los habitantes de dichas localidades y el Estado dominicano a fin de que la obra se realizara bajo una óptica consensuada entre las partes (Figuras 15 y 16).

**Figura 15.** Presa de colas de El Llagal



Fuente: <http://www.barrick.com>

**Figura 16.** Poza de infiltración de la presa de colas



Fuente: <http://www.barrick.com>

3. **Control de erosión**, a través de la instalación de cortinas de sedimentación en las labores de reforestación y diques de sedimentación (Figura 17).

**Figura 17.** Diques de sedimentación



Fuente: <http://www.barrick.com>

4. **La recuperación del río Margajita** fue posible gracias a un manejo de aguas que incluyó la construcción de un canal que bordeó todos los yacimientos explotados por la empresa Rosario Dominicana y recogió las aguas ácidas para ser tratadas antes de encausarlas al río Margajita (Figuras 18 y 19). Para esto se construyó una gran planta de tratamiento de aguas en el año 2012.

**Figura 18.** Presas de aguas ácidas ARD



Fuente: <http://www.barrick.com>

**Figura 19.** Recuperación del arroyo Margajita



Fuente: <http://www.barrick.com>

5. El proceso de tratamiento de agua se monitorea y controla de cerca con la más alta tecnología. Las muestras de agua se recogen cada 10 minutos y se analizan dos veces al día en laboratorios especializados. Además, se realizan monitoreos junto a las comunidades vecinas (monitoreos participativos) para revalidar la buena calidad de las aguas (Figura 20).

**Figura 20.** Planta de tratamiento de aguas del proceso productivo de Barrick PVDC



Fuente: <http://www.barrick.com>

La mejor evidencia de los buenos resultados de esa gestión del proceso es el color del río Margajita, que hoy en día cuenta con aguas azules que contienen

peces, jaibas y otros elementos de la flora acuática que una vez desaparecieron, pero que hoy son parte del paisaje. Es notable la mejoría del río al verse solo agua tratada, limpia y clara con pH balanceado y ver que el efecto de agua con color oscuro ya ha sido eliminado para beneficio permanente de las comunidades y predios agrícolas aledaños.

6. **Control del consumo de agua** a través de la reutilización en el proceso de la misma, disminuyendo la cuota asignada por el Estado.
7. **Control de emisiones** de fuentes fijas y móviles, a través de lavado de gases, regado de caminos y monitoreos constantes (Figura 21).

**Figura 21.** Control de emisiones





Fuente: <http://www.barrick.com>

## **Nuevas actividades de remediación ambiental**

La empresa minera Barrick Pueblo Viejo es el agente de ejecución de las obras que incluye el cierre de la presa de Mejita, aportando US\$ 75 millones de dólares, pero el Estado dominicano también aportará alrededor de 25 millones de dólares ocupándose de las labores de supervisión de personal, maquinarias, herramientas, bienes intangibles y obras de infraestructura. Los trabajos abarcan la remediación en la presa de colas de Mejita, rajo Cumba, Hondo Norte, Hondo Sur; reubicación y disposición de los suelos impactados con mercurio; intervención de la cañada Honda, ríos Maguaca y Margajita, así como el reservorio Hatillo y las instalaciones para las disposiciones de sedimentos, entre otros.

El Ministerio de Energía y Minas y la empresa Barrick Pueblo Viejo suscribieron el Acuerdo de Administración para la implementación del Plan de Administración Medioambiental del Estado y la remediación del Pasivo Medioambiental Histórico, proveniente de las antiguas operaciones de Rosario Dominicana.

El convenio fue suscrito por el ministro de Energía y Minas y el presidente de Barrick Pueblo Viejo en cumplimiento de lo establecido en el Acuerdo Especial de Arrendamiento de Derechos Mineros (CEAM), mediante el cual la minera opera el yacimiento de metales de la provincia Sánchez Ramírez. Uno de los objetivos prioritarios es el cierre de la presa de colas de Mejita, que implicará el reforzamiento del muro y la extracción de las aguas, con lo cual se eliminarán riesgos ambientales indeseados.

El acuerdo de arrendamiento de derechos mineros, con sus modificaciones, dispone que es el Estado dominicano el responsable de la administración y remediación de los asuntos medioambientales históricos derivados de la operación de la mina de Cotuí desde los tiempos de la Rosario Dominicana.

## **Impacto socioeconómico**

El empleo, tanto directo como indirecto, es uno de los principales beneficios que trae un proyecto minero.

### **Empleos directos**

Barrick PVDC generó 4,466 empleos directos para la primera fase de construcción de las instalaciones. Además, se ha estimado que por cada empleo directo se generarían tres indirectos, lo que daría un total de 12,000 empleos más

en empresas relacionadas con la mina o en nuevas empresas de la zona.

En operación, la mina de Pueblo Viejo tiene, en la actualidad, aproximadamente 2,000 empleos directos, y se espera que mantenga permanentemente unos 1,000 puestos de trabajo durante los 25 años de vida estimada de la mina, y promueva 2,500 puestos de trabajo indirectos en las provincias de Sánchez Ramírez y Monseñor Nouel. El total de empleados que laboran en el proyecto minero, al día de hoy, entre empleados directos de PVDC y contratistas, es de alrededor de 4,000.

### **Empleos indirectos**

En cuanto a los empleos indirectos, es muy difícil contarlos porque el trabajo en la mina ha abierto una serie de oportunidades para muchas personas de las comunidades vecinas. Se estima que habrá aproximadamente 1,000 trabajadores capacitados contratados directamente cada año. Y se espera que los empleos indirectos sigan creciendo.

Debido a la inversión en la zona y la generación de empleos, existe una reactivación de la actividad comercial general que se ha ido notando en los últimos años con el desarrollo comercial y ya se ha visto el crecimiento de emprendimientos microempresariales en toda el área.

Por ejemplo, hoy por hoy, hay comunidades de mujeres que ya tienen contratos para surtir a PVDC chalecos para los empleados y las mantas de coco que se utilizan para la remediación ambiental. También, hay proyectos de acuicultura en la presa de Hatillo.

Como parte del Programa de Responsabilidad Social Corporativa, la empresa realiza diversas actividades:

1. Monitoreos ambientales participativos.
2. Donaciones a instituciones, escuelas y clubes.
3. Donación del 5 % de las utilidades netas a los ayuntamientos en donde opera (requisito de la Ley núm. 64-00).

## **Políticas mineras para el desarrollo sostenible**

El Fondo Intergubernamental de Minería, Minerales, Metales y Desarrollo Sostenible (IGF)<sup>10</sup>, del cual la República Dominicana forma parte, tiene como base los siguientes pilares:

1. Marco legal y político.
2. Optimización de los beneficios financieros.
3. Optimización de los beneficios socioeconómicos.
4. Gestión ambiental.
5. Transición después de la explotación minera.
6. Minería artesanal y en pequeña escala.

En cuanto a la gestión ambiental, el IGF indica que la gestión de la base de recursos naturales de los ecosistemas es una responsabilidad permanente de toda sociedad que se proponga aumentar su sostenibilidad. A tal fin, indica que los gobiernos deberían:

1. **Velar por la gestión de los recursos hídricos:** establecer normas de gestión ambiental adecuadas para el uso de las aguas superficiales y subterráneas que se

---

<sup>10</sup> Medina Herasme, A., 2015.

cumplan y aseguren la calidad y cantidad de efluentes descargados al medio ambiente por las operaciones mineras.

2. **Reducir al mínimo los posibles efectos adversos sobre la diversidad biológica:** determinar y vigilar los riesgos e impactos potenciales y reales que puedan repercutir en la diversidad biológica y adoptar medidas para combatirlos durante todo el ciclo minero.
3. **Gestión de residuos mineros:** asegurarse de que las estructuras, tales como los vertederos de desechos y los depósitos de colas se planifiquen, diseñen y exploten de modo tal que los riesgos geotécnicos y las repercusiones en el medio ambiente se determinen y controlen debidamente durante todo el ciclo minero y después del cierre de la mina.
4. **Implementación de un programa de preparación para situaciones de emergencias:** exigir a todas las explotaciones mineras que cuenten con un programa de preparación y respuesta ante situaciones de emergencia con anterioridad al inicio de las operaciones y se cercioren de que el programa se revise, se ponga a prueba y actualice regularmente.

Con referencia a la **transición después de la explotación** sostiene que para que una operación minera sea coherente con el desarrollo sostenible debe considerar a lo largo de la vida de la mina un plan de cierre. En este caso presenta las siguientes recomendaciones:

1. Asegurar que los planes de cierre elaborados por las empresas mineras sean de alto nivel y se actualicen de forma regular.

2. Desarrollar mecanismos de garantía financiera para cubrir los costos del cierre de minas.
3. Establecer un marco para estimular la rehabilitación progresiva de las zonas mineras tan pronto como el área perturbada deje de ser necesaria para la minería, lo que reduciría las obligaciones futuras en relación con el cierre y suprimiría o reduciría al mínimo las futuras repercusiones ambientales, económicas y sociales.
4. Aceptar una función directiva respecto de las minas sin dueño conocido o abandonadas en su jurisdicción.

En cuanto al nivel de progreso para la implementación del Marco de Políticas Mineras en la República Dominicana a nivel de la gestión ambiental, la Ley núm. 64-00 establece fortalezas y debilidades:

**Fortalezas:**

1. Proporciona marco exhaustivo de gestión ambiental.
2. Requiere un proceso de consultas a comunidades integrado en la evaluación de impactos ambientales y requiere consideración de alternativas.
3. Requiere a las compañías mineras presentar informes semestrales (ICA) al Ministerio de Medio Ambiente.
4. Enfatiza efectos de la minería en el desarrollo sostenible y biodiversidad.
5. Requerimiento de programas de emergencias a compañías mineras.
6. El proceso judicial permite denunciar daños ambientales de proyectos mineros y puede conllevar a suspensión de proyectos.

### **Debilidades:**

1. El uso de aguas superficiales y subterráneas no es estrictamente monitoreado ni se le aplican sanciones apropiadas.
2. Las sanciones en la Ley núm. 64-00 deben clarificarse y ser aplicadas de manera consistente.
3. Existen normas de calidad y cantidad de efluentes de las minas, pero falta de consistencia en el monitoreo y aplicación.
4. La protección, específicamente para los vertederos de desechos de lixiviación o percolación, presas de cola y las plataformas de lixiviación del agua debe ser desarrollada e implementada.
5. Las evaluaciones de impacto ambiental y los informes de compañías no se encuentran fácilmente accesibles al público.
6. No existen requerimientos de consultas periódicas ni cooperación con los gobiernos locales, comunidades locales y otros actores con relación al programa de preparación para emergencias u otros aspectos del proyecto minero.
7. Los términos de referencia particulares para cada proyecto llevan a una falta de coherencia en el proceso de permisos.

### **Conclusiones**

El sistema de evaluación de impacto ambiental implementado en el país a partir de la promulgación de la Ley núm. 64-00, que crea la Secretaría de Estado [hoy Ministerio] de Medio Ambiente y Recursos Naturales, ha establecido la

obligatoriedad a las empresas mineras existentes y en proyecto de presentar estudios ambientales para su autorización y, no menos importante, ha exigido la presentación de informes que demuestren el desempeño ambiental de las empresas.

Esta situación, junto con la creciente responsabilidad ambiental de algunas empresas a nivel nacional e internacional y de la implementación de Sistemas de Gestión Ambiental bajo la Norma ISO 14,001 a nivel corporativo, ha puesto de relevancia la aplicación de medidas de control ambiental, de manejo de riesgos ambientales y sociales en la mayoría de las empresas mineras del país, con el fin de lograr operaciones sostenibles.

## **Referencias**

- Barrick Gold Pueblo Viejo. <https://www.barrick.com/English/home/default.aspx>
- Cámara Minera Petrolera de la República Dominicana. (2022). *Estudio revela el impacto de la minería en la economía de RD*. <http://camiperd.org/estudio-revela-impacto-de-mineria-en-economia-de-rd/#:~:text=Genera%20empleos%20y%20paga%20buenos,16%20%25%20provenientes%20de%20empleos%20directos>
- Comisión Nacional de la Iniciativa para la Transparencia en las Industrias Extractivas (EITI-RD). (s. f.). *Producción minera*. <https://eitird.mem.gob.do/informe-eiti-rd/produccion-y-exportacion/produccion-minera-dominicana/>

- Comisión Nacional de la Iniciativa para la Transparencia en las Industrias Extractivas (EITI-RD). (s. f.). *Iniciativa para la transparencia de industrias extractivas*. <https://eitird.mem.gob.do/informe-eiti-rd/produccion-y-exportacion/produccion-minera-dominicana/>
- Comisión Nacional de la Iniciativa para la Transparencia en las Industrias Extractivas (EITI-RD). (s. f.). *Contrato especial para la evaluación, explotación y beneficio de la presa de colas las lagunas*. <https://eitird.mem.gob.do/informe-eiti-rd/contratos-mineros/reserva-fiscal-de-montenegro/contrato-presa-de-cola-las-lagunas/>
- Delgado, E. (7 de abril de 2022). Exportación de oro de República Dominicana crece por el precio, no por producción. *El Dinero*. <https://eldinero.com.do/193126/exportacion-de-oro-de-republica-dominicana-crece-por-el-precio-no-por-produccion/>
- FALCONDO. (2022). *FALCONDO logra recertificación ISO 14001 versión 2015 de gestión ambiental*. <https://www.falcondo.do/noticias.php?titulo=Falcondo-logra-recertificación-ISO-14001-versión-2015-de-gestión-ambiental>.  
<http://noalamina.org/latinoamerica/republica-dominicana/item/15807-gobierno-dominicano-apor-tara-para-remediar-pasivo-ambiental-en-mina-de-co-tui-de-barrick-gold>
- Instituto Peruano de Economía: *Actualidad Minera de la República Dominicana*. (s. f.). [http://members.acp.int/mining\\_ppt/Actualidad%20Minera%20Dominicana.ppt](http://members.acp.int/mining_ppt/Actualidad%20Minera%20Dominicana.ppt)

- Kussmaul, S. (1989). Reseña. *Revista Geológica de América Central*, 41: 9-16, 2009. ISSN: 0256-7024 Universidad de Costa Rica.
- Medina Herasme, A. *Marco de Políticas Mineras para Estados Miembros del Foro Intergubernamental de Minería (IGF) Caso República Dominicana*. En: 1.<sup>er</sup> Foro para una Industria Extractiva Sostenible en la República Dominicana. Noviembre del 2015. <https://www.igfmining.org/es/country-support/mining-policy-framework/>
- Moya Pons, F. (1992). *Historia de la República Dominicana*. Vol. 2. Capítulo 2, Evolución de la población dominicana, 1500-2010. (pp. 58-61). Ediciones Doce Calles, S.L. y CSIC.
- Redacción elDinero. (19 de enero de 2019). Cormidom inaugura primera mina subterránea de RD. *elDinero*. <https://eldinero.com.do/76048/cormidom-inaugura-primera-mina-subterranea-de-rd/>

# **La educación en cambio climático para el desarrollo sostenible y su incidencia en la práctica docente del sistema educativo preuniversitario de la República Dominicana**

FRANKLIN TEJEDA

*El cambio climático antropogénico es un teorema de transcendencia intergeneracional que compromete la salud de todos los ecosistemas de la Tierra*

## **Resumen**

Esta investigación indaga el impacto del Programa Nacional de Educación en Cambio Climático para el Desarrollo Sostenible (ECCDS) en las prácticas de los docentes del Distrito Educativo 05-05, Sabana de la Mar, provincia Hato Mayor. Evalúa el conocimiento de los maestros sobre la ciencia climática básica y el enfoque de educación para el desarrollo sostenible. También, examina la inclusión de estos temas en los planes de clase y evalúa la satisfacción de los maestros con el contenido, la metodología, los recursos y la implementación del programa. Los datos obtenidos revelaron que el programa contribuyó a mejorar el nivel de conocimiento del profesorado participante acerca del cambio climático y el uso del enfoque de la educación para el desarrollo sostenible.

**Palabras clave:** educación, cambio climático, desarrollo sostenible.

### **Abstract**

This research investigates the impact of the National Education Program on Climate Change for Sustainable Development (ECCDS) on teachers' practices in the Educational District 05-05, Sabana de la Mar, Hato Mayor province. It assesses teachers' knowledge of basic climate science and the Education for Sustainable Development approach, examines the inclusion of these topics in lesson plans, and evaluates teacher satisfaction with the program's content, methodology, resources, and implementation. The data obtained revealed that the program contributed to improving the participating teachers' knowledge about climate change and using the education for sustainable development approach.

**Keywords:** education, climate change and sustainable development.

## **Introducción**

Los actuales desafíos ambientales han generado una alerta global sobre el deterioro progresivo de los ecosistemas naturales que componen la biodiversidad planetaria. En las últimas dos décadas del siglo XX acontecieron debates científicos sobre el cambio climático de origen antropogénico que suscitaron preocupación en la comunidad internacional.

Más allá de los esfuerzos políticos para impulsar acuerdos que conduzcan a la reducción progresiva de la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre

y el consecuente aumento de las temperaturas globales, en el primer quinquenio del siglo XXI, la ONU reconoció que “la educación es un elemento indispensable para alcanzar el desarrollo sostenible”<sup>1</sup> y aprender a afrontar el cambio climático.

En febrero de 2003 la Asamblea General de la ONU dispuso que la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO por sus siglas en inglés) fuera el organismo rector para la elaboración y promoción del decenio sobre la educación para el desarrollo sostenible, concluido en el año 2014. Como parte de su mandato, dicha organización afirma que “la educación que reciben los niños actualmente determinará el mundo de mañana. Por ello, la educación sobre el cambio climático para el desarrollo sostenible desempeña un papel fundamental para ayudar al público en general y, en especial, a las generaciones siguientes, a comprender las cuestiones relacionadas y participar en ellas, cambiar el estilo de vida para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y adaptarse a las condiciones locales cambiantes”.<sup>2</sup>

Otro antecedente que se conjuga con el llamado efectuado a la educación es el esfuerzo de la comunidad científica para comunicar a la ciudadanía en un lenguaje universalmente comprensible las evidencias que soportan la declaración de que actualmente el planeta Tierra experimenta un cambio climático de origen antropogénico.

---

<sup>1</sup> Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas, Resolución 57/254.

<sup>2</sup> UNESCO, 2018.

En el Quinto Informe del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) se aportó la base conceptual científica que define que los “cambios observados y sus causas integran nueva información procedente de los tres grupos de trabajo sobre los cambios observados en el sistema climático, en particular, los cambios en la atmósfera, los océanos, la criósfera y el nivel del mar; los impulsores recientes y pasados y la influencia humana en los factores determinantes de las emisiones; los impactos observados, así como los cambios en los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos; y la atribución de los cambios climáticos y sus impactos”.<sup>3</sup>

## **República Dominicana, estado insular que hace frente al cambio climático**

En la Política Nacional de Cambio Climático, el Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (MEPyD) indica que “la República Dominicana es un Estado Insular en Desarrollo localizado en la región del Caribe. Emite menos del 0.1 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI). Sin embargo, dada su condición de insularidad es muy vulnerable a los impactos del cambio climático, tales como el incremento en la temperatura, el aumento del nivel del mar y la variabilidad extrema de las precipitaciones”.<sup>4</sup>

En abril de 2010, la República Dominicana y otros 20 países de América Latina y el Caribe participaron en el

---

<sup>3</sup> Panel Intergubernamental del Cambio Climático, 2014.

<sup>4</sup> Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo, 2016.

taller regional sobre la implementación del artículo 6 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC)<sup>5</sup>, que exhorta a los Estados Parte a la “elaboración y aplicación de programas de educación y sensibilización del público sobre el cambio climático y sus efectos. La preparación y el intercambio de material educativo y material destinado a sensibilizar al público sobre el cambio climático y sus efectos. La preparación y aplicación de programas de educación y formación, incluido el fortalecimiento de las instituciones nacionales y el intercambio o la adscripción de personal encargado de formar expertos en esta esfera, en particular para países en desarrollo”.<sup>6</sup>

En el año 2012 el Estado dominicano promulgó la Ley núm. 1-12, de Estrategia Nacional de Desarrollo 2030, en la que se establece el objetivo específico de “proteger y usar de forma sostenible los bienes y servicios de los ecosistemas, la biodiversidad y el patrimonio natural de la nación, incluidos los recursos marinos”. En una de sus líneas de acción resuelve “promover la educación ambiental y el involucramiento de la población en la valoración, protección y defensa del medio ambiente y el manejo sostenible de los recursos naturales, incluyendo la educación sobre las causas y consecuencias del cambio climático”.<sup>7</sup>

En respuesta al llamado de la Estrategia Nacional de Desarrollo 2030 y los compromisos internacionales, entre los

---

<sup>5</sup> Consejo Nacional para el Cambio Climático y el Mecanismo de Desarrollo Limpio, 2010.

<sup>6</sup> Organización de las Naciones Unidas, 1992.

<sup>7</sup> Ley núm.1-12, del 25 de enero de 2012.

años 2014 y 2017, el Ministerio de Educación de la República Dominicana (MINERD), por medio del Instituto Nacional de Formación y Capacitación del Magisterio (INAFOCAM) y el Consejo Nacional para el Cambio Climático y el Mecanismo de Desarrollo Limpio (CNCCMDL) facilitaron la participación de tres mil docentes en el Programa Nacional de Educación en Cambio Climático para el Desarrollo Sostenible, el cual buscó dotarlos de conocimientos, metodologías y recursos útiles en el abordaje del cambio climático en las aulas, con miras a que la comunidad educativa emprenda acciones de mitigación y adaptación para afrontar los efectos adversos que provoca la actual variabilidad climática.

La iniciativa nacional se desarrolló siguiendo los fundamentos del Programa Nacional de Educación en Cambio Climático para el Desarrollo Sostenible (ECCDS) de la UNESCO, ideado bajo la convicción de que la “educación y la concientización desempeñan funciones clave para hacer retroceder la amenaza que representa el cambio climático para un futuro sostenible”.<sup>8</sup>

El programa de ECCDS centra su atención en el desarrollo profesional del profesorado, mediante la formación continua, a fin de que los docentes interioricen en su práctica pedagógica la filosofía de educar para el desarrollo sostenible, gestando aprendizajes que inviten a los educandos a reflexionar detenidamente y adoptar estilos de vida que los conduzcan al uso responsable de los recursos naturales, a la vez que este ejercicio, iniciado en la escuela y extendido a la

---

<sup>8</sup> UNESCO y Consejo Nacional para el Cambio Climático y el Mecanismo de Desarrollo Limpio, 2013.

comunidad, transforma de manera positiva las decisiones humanas que inciden en el medio natural, la cultura, la economía y la política.

Otro antecedente relevante que sirvió como acción motivadora y línea base para la creación local del Programa ECCDS, fue el Estudio sobre el Nivel de Conocimiento y la Percepción de la Población Dominicana sobre el Cambio Climático (2011). La encuesta abarcó una muestra de 1,500 personas de 18 años y más. Entre sus resultados se destaca que la mayoría de las personas entrevistadas se enteró del tema “cambio climático” a través de la televisión (89.1 %), dato que colocaba a un medio de comunicación tradicional muy por encima de los centros de enseñanza (escuelas, colegios, universidades...), con apenas el 5.86 %. El ejercicio fue realizado nuevamente en 2021, en esta ocasión la TV se colocó entre los tres medios para obtener información sobre el fenómeno, con un 56 %; seguido de las redes sociales con un 23.6 %; y la radio con 15.5 %. Los centros educativos obtuvieron el mismo valor porcentual de 2011.<sup>9</sup>

El programa creado por las autoridades locales también consideró la Estrategia Nacional para Fortalecer los Recursos Humanos y las Habilidades para Avanzar hacia un Desarrollo Verde, con Bajas Emisiones y Resiliencia Climática (2012). En este documento de política pública se propone que los aprendizajes relativos a la adaptación y mitigación del cambio climático implican que “el sujeto es el constructor del conocimiento. El conocimiento se construye activamente con base en el conocimiento previo. Sólo cuando el

---

<sup>9</sup> Consejo Nacional para el Cambio Climático, 2021.

sujeto cuenta con esquemas y procesos de conocimiento puede elaborar nuevo conocimiento. Las interacciones sociales, la colectividad, la cultura y el contexto intervienen en la construcción del conocimiento. Quienes forman deben proveer oportunidades para que estos conocimientos se transformen. Se debe proporcionar oportunidades de reflexionar sobre lo aprendido”.<sup>10</sup>

Otro de los ejercicios que se llevaron a cabo para el logro de la referida estrategia fue la detección de necesidades y capacidades del sistema de educación y formación para entregar aprendizajes sobre cambio climático. A continuación, se comparte la reflexión sobre las necesidades del sistema educativo preuniversitario dominicano:

Desde el currículo de Educación Inicial se tocan temáticas referidas a la protección del medio ambiente y comprensión de los fenómenos naturales que afectan la isla. No obstante, es imperante que se aborden de manera más precisa las problemáticas relacionadas con el cambio climático. Esto implicaría el fortalecimiento de las capacidades de recursos humanos que tienen que ver con la toma de decisiones, de los técnicos que acompañan el trabajo en el aula y de los docentes encargados de promover aprendizajes. Aunque el tema educación medio ambiente es un eje transversal en el currículo y aunque en cada uno de los niveles del sistema educativo se aborda la protección del medio ambiente, la naturaleza y el uso ético de los recursos, urge la necesidad de que el cambio climático

---

<sup>10</sup> Consejo Nacional para el Cambio Climático, Estrategia Nacional para Fortalecer los Recursos Humanos y las Habilidades para Avanzar hacia un Desarrollo Verde con Bajas Emisiones y Resiliencia Climática, 2012.

quede incluido de una manera más amplia y directa en cada uno de los niveles, ciclos, modalidades y subsistemas educativos. Por otro lado, los resultados de las pruebas nacionales en el área de ciencias siguen siendo bajos. De ahí la necesidad de fortalecer capacidades formativas en esa área.<sup>11</sup>

El Programa ECCDS utilizó el Curso Educación en Cambio Climático para el Desarrollo Sostenible como principal acción de formación continua para llegar a más de tres mil docentes de las 18 Regionales de Educación presentes en el territorio de la República Dominicana.<sup>12</sup> Los objetivos de aprendizaje del curso se orientaron a “desarrollar la apreciación de la naturaleza, el alcance, los propósitos y forma de obrar de la ECCDS; desarrollar la confianza y las habilidades de los docentes en la facilitación de un aprendizaje con visión de futuro; posibilitar y animar a los docentes a educar sobre el cambio climático a través de marcos de referencia ambientales; viabilizar a los docentes para que eduquen sobre las dimensiones clave del cambio climático, como son la mitigación y adaptación, la negación, la vulnerabilidad y la resiliencia, la reducción del riesgo de desastre y la justicia climática, y darles las habilidades para facilitar la discusión y reflexión sobre cada dimensión en el aula y el compromiso práctico fuera del aula...”<sup>13</sup>

El curso Educación en Cambio Climático para el Desarrollo Sostenible se organizó en torno a cinco módulos de aprendizaje:

---

<sup>11</sup> Ibid, 79-80.

<sup>12</sup> UN CC: Learn, 2017.

<sup>13</sup> UNESCO y Consejo Nacional para el Cambio Climático y el Mecanismo de Desarrollo Limpio.

1. **Aprendizaje en cambio climático para el desarrollo sostenible.** Se explora la Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) y la Educación en Cambio Climático (ECC) en la teoría y la práctica, y las características que refuerzan la una a la otra. Se introducen conceptos y dimensiones clave de la Educación en Cambio Climático para el Desarrollo Sostenible (ECCDS) (Figura 3).
2. **El cambio climático: un enfoque de aprendizaje con visión de futuro.** Este módulo explora la docencia y el aprendizaje sobre el cambio climático a través del tiempo, especialmente el presente y el futuro.
3. **Aprendizaje sobre la mitigación y la adaptación al cambio climático.** Se inicia profundizando en la mitigación, la adaptación al cambio climático y la relación que existe entre ambas y cómo se solapan. Se explora en detalle la idea de las fuerzas conducentes, inmediatas o existentes, que deben tratarse a través de acciones de mitigación, así como las fuerzas conducentes básicas.
4. **Aprendizaje sobre el cambio climático: un enfoque local.** Este módulo se centra en la comunidad local y en el aprendizaje sobre cambio climático en la escuela.
5. **Enfrentando el cambio climático: hacia el empoderamiento y la acción:** los docentes participan de la experiencia de cómo hacer para que sus educandos expongan sus preocupaciones sobre el futuro, vocalicen sus sentimientos de desesperanza e impotencia ante el cambio climático y para traducir estos

a sentimientos de propósito y empoderamiento. Se practica la forma de hacer frente a la negación del cambio climático y a las respuestas contradictorias a través de representaciones dramáticas.<sup>14</sup>

## Metodología

Con el objetivo de analizar la incidencia del Programa Nacional de Educación en Cambio Climático para el Desarrollo Sostenible en la práctica de los docentes beneficiarios, durante los años 2019-2020,<sup>15</sup> se efectuó una investigación de tipo exploratoria-descriptiva, centrada en educadores que laboran en centros educativos públicos del Distrito Educativo 05-05, localizado en la ciudad de Sabana de la Mar (Figura 1), común cabecera del municipio del mismo nombre, parte de la región Higüamo, provincia Hato Mayor.<sup>16</sup>

La muestra objeto de estudio se obtuvo a partir de los centros educativos del referido Distrito Educativo que tienen en sus aulas a docentes impactados por el Programa ECCDS: cinco escuelas del nivel primario y una del nivel secundario. El proceso formativo de los docentes del Distrito Educativo 05-05 fue encargado por el INAFOCAM a la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña. Participaron treinta y ocho personas, de estos, treinta y seis empleados (docentes y técnicos) del Ministerio de Educación,

---

<sup>14</sup> Ibidem

<sup>15</sup> La pandemia de la Covid-19 afectó el calendario de la investigación debido a los efectos disruptivos de la emergencia sanitaria.

<sup>16</sup> Tejeda, F. J., 2020. [Tesis de maestría].

un técnico del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y una funcionaria de la alcaldía del municipio de Sabana de la Mar.

Para la selección de la muestra se tomaron en cuenta los siguientes criterios: 1. Que sea docente; 2. Que se encontrara impartiendo docencia en un centro educativo; y 3. Que haya recibido la certificación de la universidad formadora acreditando su aprobación del curso. A partir de estos criterios, de los treinta y seis empleados del MINERD, veintiocho personas cumplieron con el 100 % de los atributos.

Para el levantamiento de datos fueron consultadas dieciocho personas, de las cuales dieciséis corresponden al sexo femenino, mientras que dos, al masculino.

Se profundizó en la caracterización de los elementos visibles y fundamentales que componen el fenómeno escrutado: la práctica del personal docente mediante los planes de clase, la gestión educativa implementada por la dirección de los centros educativos y la política pública vinculante al tema.

Es importante recordar que la cuestión estudiada fundamenta su concepción en un modelo formativo ideado por la UNESCO, de carácter universal, utilizado por diferentes países en la formación continua del profesorado para el uso del enfoque de educación en cambio climático para el desarrollo sostenible.

Se diseñó una prueba de conocimiento para los docentes participantes sobre la ciencia básica del cambio climático y el enfoque de la ECCDS, la cual se aplicó el 24 de mayo de 2019 a dieciocho personas. Se facilitó un cuestionario a cada beneficiario con preguntas elaboradas usando

los contenidos del segundo módulo del Manual Cambio Climático en Aula de la UNESCO, adaptación al español (2015). Dependiendo del ítem se utilizó la escala nominal y la escala ordinal.

En la referida fecha se entrevistó la misma cantidad de personas por medio de un cuestionario con preguntas que implicaron respuestas cerradas y abiertas, las cuales permitieron obtener datos para determinar el perfil del personal docente seleccionado para el estudio (sexo, grupo de edad, nivel educativo y nivel socioeconómico). El uso de este instrumento también contribuyó para medir el número de docentes que han participado en formaciones sobre uso de estrategias de aprendizaje que potencian la educación en cambio climático para el desarrollo sostenible.

Entre el 30 de agosto y 2 de septiembre de 2020, se aplicó a los docentes una encuesta en línea con preguntas de selección múltiple y de respuestas abiertas para determinar el grado de satisfacción de estos con la estructura de contenidos, metodología, recursos y capacidad de implementación del enfoque de aprendizaje del curso “Educación en Cambio Climático para el Desarrollo Sostenible”. En este ejercicio de pandemia solo participó el 44 % de los docentes elegibles para la investigación.

## **Resultados**

El objetivo específico 1 del estudio consistió en determinar el nivel de conocimiento que poseen los docentes del Distrito Educativo 05-05 sobre la ciencia básica del cambio climático y el enfoque de aprendizaje de la Educación para el Desarrollo Sostenible.

En términos generales, se observaron resultados positivos sobre el nivel de conocimiento que poseen los docentes del Distrito Educativo 05-05 acerca de la ciencia básica del cambio climático y el enfoque de aprendizaje de la Educación para el Desarrollo Sostenible. En las preguntas específicas sobre la ciencia básica del cambio climático, en 10 ítems de un total de 12, se logró un nivel de acierto general de parte de los docentes de un 88 % de respuestas correctas. El 100 % coincidió en que los cambios extremos en la temperatura global son una consecuencia notable del cambio climático de origen antropogénico.

Considerando que 12 docentes de los 18 que participaron en la prueba de conocimiento tienen como área específica de formación la Educación Básica y la mención en Filosofía y Letras —aunque no es un resultado concluyente—, se puede inferir que la existencia de conocimientos previos y los adquiridos durante su participación en el curso ECCDS aportaron al logro de aprendizajes favorables en profesionales de la educación que no tienen como carrera base una disciplina de las ciencias naturales o una especialidad afín a este ámbito del saber científico.

En lo que respecta al componente sobre el enfoque de aprendizaje de la Educación para el Desarrollo Sostenible y su incidencia en la educación relativa al cambio climático, se obtuvieron resultados positivos sobre el conjunto de respuestas que incluyen las habilidades recomendadas por la UNESCO para que los educandos adquieran un aprendizaje abierto que trate el cambio climático en relación con el desarrollo sostenible. Más del 80 % de los docentes que tomaron la prueba seleccionaron las seis habilidades clave para propiciar en los educandos un aprendizaje abierto: de

gestión de la información, de pensamiento crítico, de acción, de interacción, de visión de futuro y de habilidades personales.

En las preguntas abiertas por medio de las cuales se invitó al personal docente a definir, por separado, los conceptos ‘desarrollo sostenible’ y ‘educación para el desarrollo sostenible’, se evidenciaron buenos niveles de comprensión sobre el significado diferenciado de estos. Las definiciones ofrecidas por el 67 % de los docentes sobre ‘desarrollo sostenible’, coinciden con la versión presentada por la ONU en su informe “Nuestro futuro común”, de 1987, de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo: “Se define el desarrollo sostenible como la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”.

El 84 % de los docentes alcanzaron definiciones sobre ‘educación para el desarrollo sostenible’, coincidentes con la versión ofrecida por la UNESCO: “La EDS habilita a los educandos para tomar decisiones fundamentadas y adoptar medidas responsables en favor de la integridad del medio ambiente y la viabilidad de la economía”.<sup>17</sup>

Un elemento notable es que este grupo manifestó, por medio de sus respuestas, que este tipo de educación debe centrarse en el aprendizaje comunitario, en los lugares de residencia de los educandos. Esta revelación nos recuerda la importancia de motivar la acción por medio del aprendizaje local, por ejemplo: al desarrollar el conocimiento sobre las

---

<sup>17</sup> UNESCO. *¿Qué es la Educación para el Desarrollo Sostenible?*

prácticas culturales o agrícolas locales de temporada o sobre su fauna y flora y cómo estas han alimentado la historia y simbolismo cultural y religioso y explorar cómo se pueden perder debido a los efectos del cambio climático, pueden hacer surgir sentimientos de responsabilidad y acción a nivel local.<sup>18</sup>

Las definiciones oficiales de los conceptos anteriormente mencionados fueron las mismas que se utilizaron en los contenidos de los módulos 1 y 2 del curso “Educación en Cambio Climático para el Desarrollo Sostenible”.

En cuanto a los elementos que forman parte del fundamento y el marco conceptual de la educación en cambio climático, el 94 % del personal docente indicó tres de los seis enfoques: dimensión de mitigación, transformación colectiva de la comunidad, desarrollo de la resiliencia-reducción de la vulnerabilidad. Mientras que, de las otras tres opciones válidas, sólo el 33 % de los docentes las escogieron: énfasis en la autotransformación, centrarse en el conocimiento y la atención al aprendizaje individual.

Este resultado alerta sobre la importancia de profundizar en el profesorado los motivos de la cuestión, es decir, el porqué y para qué la educación en cambio climático, las esferas reflexivas y de compromiso; todos componentes esenciales de la dinámica de transformación del curso ECCDS.

En lo que respecta a las acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, el 63 % y 61 % respectivamente, identificó cuatro medidas para las categorías especificadas.

---

<sup>18</sup> UNESCO y Consejo Nacional para el Cambio Climático y el Mecanismo de Desarrollo Limpio, 2013b.

Finalmente, se verificaron resultados acertados en las respuestas facilitadas por el personal docente a otros elementos de la ciencia básica del cambio climático. El 89 % de las personas participantes dominan el concepto calentamiento global; el 94 % de los docentes entiende en qué consiste la variabilidad climática; el 100 % comprende el efecto invernadero; más del 89 % reconoce la diferencia entre clima y tiempo atmosférico.

Respecto al objetivo específico 2, comprobar si los docentes del Distrito Educativo 05-05 incorporan en su Plan Anual de Clases 2018-2019 contenidos, estrategias, metodologías y recursos de aprendizaje significativos que propician la educación en cambio climático para el desarrollo sostenible; no fue posible la verificación como originalmente se pensó en el diseño de la investigación, debido a que en algunos casos los documentos no estaban concluidos o disponibles cuando se realizaron los requerimientos. Como alternativa se logró recuperar información por medio de entrevista al personal docente, facilitando datos para un análisis parcial de este objetivo específico.

Los datos obtenidos revelan que el 78 % de los docentes, de un total de 18, afirmó positivamente que integró en el último año escolar en sus planes de clases actividades que promueven aprendizajes de la educación en cambio climático para el desarrollo sostenible. El 22 % no lo hizo o no respondió.

La proyección de videos explicativos fue descrita como una de las actividades de aprendizaje más utilizadas para abordar las generalidades del cambio climático: causas, consecuencias y medidas para afrontarlo. En este mismo orden,

el video es el único recurso multimedia que declararon utilizar el 22 % del profesorado entrevistado.

Como parte de un segundo grupo de resultados sobre el componente de actividades que promueven aprendizajes de la educación en cambio climático para el desarrollo sostenible, seis docentes indicaron el uso de charlas, talleres y la creación de obras de arte sobre el tema; actividades que afirmaron incluir en sus planes de clase.

En un solo caso se indicó el uso de la estrategia para motivar el abordaje del tema en otras asignaturas de las cuales no son responsables. Este resultado llama a recordar que este tipo de educación requiere de un marco holístico, en el que la visión es tratar los preceptos y principios de la sostenibilidad en el currículo de forma entrecruzada e interdisciplinaria.<sup>19</sup>

Otro hallazgo importante representa el hecho de que cuatro docentes vincularon la educación sobre cambio climático con el “Programa de Reciclaje en la Escuela”, iniciativa implementada por la Alcaldía de Sabana de la Mar, la cual involucra la participación de los centros educativos y otras organizaciones comunitarias del municipio. Esta estrategia de vinculación favorece la apropiación de la comunidad educativa, ya que es parte de un principio de fortalecer acciones encaminadas que procuren transformar sus estilos de vida para disminuir el impacto en el medio ambiente y el uso intensivo de los recursos naturales, en particular en los ecosistemas con alta frecuencia de presencia de seres humanos para uso recreativo, tales como playas y ríos.

---

<sup>19</sup> Ibidem, 13.

A pesar de que la acción anterior contribuye a generar interés por el estudio del cambio climático en la escuela, es importante señalar que, debido a la naturaleza y particularidades del tema, se requieren planes escolares que centren aún más la atención del personal docente, estudiantes y la familia en la urgente necesidad de afrontar el cambio climático, desde la educación, para asegurar el futuro y desarrollo sostenible de la vida y del planeta Tierra.

Aunque no fue parte del objeto de estudio de la investigación, nos permitimos señalar que la confusión que se descubre en el uso de parte de los docentes sobre los conceptos ‘reciclar’ y ‘reutilizar’, genera inquietud sobre el nivel de dominio que poseen sobre este particular y la potencial distorsión que puede crear su falta de comprensión en actividades de aprendizaje diseñadas para cambiar la cultura de utilización del plástico de un solo uso.

Otro elemento de interés se revela al observar que algunas de las respuestas del personal docente hacen referencia a una línea de trabajo sobre el cambio climático de la mano de otros desafíos que afectan considerablemente a los territorios insulares, como la República Dominicana; y sus comunidades costeras, como el municipio Sabana de la Mar. En particular, la contaminación ambiental de sus recursos costeros y la gestión de riesgos ante la ocurrencia de fenómenos naturales, en los que la educación participa de manera activa para fomentar la capacidad de respuesta de las comunidades, contribuyendo a que su población joven y adulta sea portadora de aprendizajes que le conduzcan a un rol de ciudadanía participativa para gestionar la adopción de medidas que les permitan mitigar y adaptarse a los efectos

más adversos del cambio climático de origen antropogénico, como las tormentas tropicales más intensas.

Respecto a la formación continua que incide en el fortalecimiento de las capacidades del profesorado para abordar en su práctica pedagógica la educación en cambio climático para el desarrollo sostenible, el 33 % afirmó que posee capacitación en educación para la gestión de riesgos; el 22 % indicó que ha participado de cursos, talleres o diplomados sobre la planificación por competencia; el 45 % de los docentes señaló que ha cursado formaciones de corta duración en didáctica de la geografía, gestión de proyectos educativos, educación para la ciudadanía y educación ambiental; y el 27 % declaró que no ha participado en otras formaciones además del curso ECCDS.

El último objetivo específico se concentró en medir el grado de satisfacción de los docentes del Distrito Educativo 05-05 sobre la estructura de contenidos, metodología, recursos y capacidad de implementación del enfoque de aprendizaje del curso Educación en Cambio Climático para el Desarrollo Sostenible.

Un 87 % de los docentes que participaron de la encuesta en línea, valoró como “muy satisfechos” los componentes relativos a: programa formativo, recursos impresos de aprendizaje y equipo de facilitadores. Asimismo, la metodología y los recursos digitales fueron considerados con un alto grado de satisfacción por el 75 % del profesorado que respondió.

En términos generales, la estructura de contenidos, la metodología y los recursos del curso fueron considerados como apropiados. Sin embargo, las oportunidades de mejora existen, tal y como se demuestra en una de las repuestas facilitadas por una de las personas encuestadas: “Me hubiera

gustado visitar algunos de los lugares de los cuales hicimos alusión durante el programa para identificar más de cerca las problemáticas o situaciones que resaltamos”.<sup>20</sup>

En el componente de seguimiento, el 100 % de los docentes indicó que implementó, en el centro educativo en el que labora, actividades o proyectos que implicaron el uso del enfoque de educación en cambio climático para el desarrollo sostenible.

En cuanto a la participación de actores que hacen vida en el centro educativo, el 75 % de los docentes que respondieron la encuesta en línea indicaron que contaron con el apoyo de la dirección o del equipo de gestión de la escuela.

Los desafíos asociados a las condiciones de la escuela y la política educativa, referidos por el profesorado, dan cuenta de la dificultad para implementar el enfoque debido a la falta de tiempo para realizar las actividades, el bajo presupuesto del centro educativo impide financiar las actividades, poca participación de las familias y la no facilitación de permisos de parte de las autoridades educativas para realizar visitas de aprendizaje fuera de la escuela.

De acuerdo con las respuestas ofrecidas por los docentes, los grupos de mayor participación en las actividades que implicaron el uso del enfoque de educación en cambio climático para el desarrollo sostenible fueron los estudiantes y el

---

<sup>20</sup> Informe Análisis de resultados de la encuesta sobre el grado de satisfacción de los docentes sobre la estructura de contenidos, metodología, recursos y capacidad de implementación del enfoque de aprendizaje del curso “Educación en Cambio Climático para el Desarrollo Sostenible”.

personal directivo, seguido de otros docentes, el equipo de gestión, autoridades locales y, en última instancia, la familia.

En lo que respecta a las dificultades propias que ha tenido el profesorado para lograr incorporar en su práctica docente el enfoque de educación en cambio climático para el desarrollo sostenible, identifican la ausencia de contenidos a nivel curricular que les permitan planificar en los grados en que imparten clases. Por igual se revelan complicaciones para generar adaptaciones de la malla curricular. Otros factores están asociados a la precariedad de las instalaciones educativas, falta de recursos económicos y didácticos, así como la baja participación de la comunidad educativa.

A pesar de que los docentes indicaron desafíos respecto a la disponibilidad de contenido curricular, en la investigación se pudo verificar que, en los diseños curriculares del nivel primario y secundario, existen competencias específicas y contenidos en los cuales el profesorado se puede apoyar para generar situaciones de aprendizaje en sus planes de clases utilizando el enfoque de educación en cambio climático para el desarrollo sostenible. No obstante, señalamos que el énfasis sobre este tema en particular se produce en primero, segundo, tercero, cuarto y sexto grado del nivel secundario.

De forma general, se observa que la educación para el desarrollo sostenible está más acentuada en el nivel primario, mientras que la educación sobre el cambio climático se aborda directamente en el nivel secundario.

## Conclusiones y recomendaciones

Lo descrito anteriormente convoca a que el programa formativo del curso disponga de un módulo que permita a los docentes apropiarse de estrategias para generar alianzas y movilizar la participación de otros actores, acción que debería estar acompañada de la socialización de buenas prácticas que tienen otros centros educativos sobre el enfoque en cambio climático en la escuela y la comunidad.

Los resultados logrados en la prueba de conocimiento permiten determinar que el personal docente evaluado posee un nivel de aprendizaje apropiado sobre la ciencia básica del cambio climático y el uso del enfoque de la Educación para el Desarrollo Sostenible.

El análisis de los datos refiere a la necesidad de fortalecer la capacidad del profesorado en lo que respecta al componente de planificación de contenidos, uso de estrategias, metodologías y recursos educativos que apoyen a los estudiantes en la adquisición de aprendizajes, desarrollo de competencias y valores propios del enfoque de educación en cambio climático para el desarrollo sostenible.

Por igual, los centros educativos, en consulta con la comunidad educativa, deben efectuar la revisión del Proyecto Educativo de Centro, con énfasis en los elementos que inspiran la filosofía de la escuela, tales como la misión, la visión, los valores y los procesos pedagógicos y administrativos, a fin de que se facilite la adopción integral del enfoque de la educación en cambio climático para el desarrollo sostenible.

En el nivel de gestión distrital es deseable incorporar en el Plan Operativo Anual una línea estratégica dedicada a la implementación de acciones de acompañamiento y

fortalecimiento de capacidades del personal docente egresado del curso ECCDS, con el propósito de apoyarles en la tarea de que la comunidad educativa se apropie del enfoque de la educación en cambio climático para el desarrollo sostenible.

Las autoridades educativas responsables de la gestión nacional del Programa ECCDS deben contar con una estrategia de monitoreo y evaluación de las actividades que tienen lugar en el marco de la iniciativa para asegurar actualizaciones en todos los componentes que lo ameriten.

El análisis general de los datos obtenidos revela que el Programa Nacional de Educación en Cambio Climático para el Desarrollo Sostenible ha contribuido a mejorar el nivel de conocimiento en los docentes participantes en este caso de estudio sobre el enfoque educativo que promueve.

Lograr la transformación de la escuela en un espacio social y ambientalmente sostenible, requiere de una ardua labor de los servidores públicos y de la participación de las familias, que probablemente empieza por entender la base cultural sobre la que se construyen las relaciones y los valores que conducen al comportamiento que caracterizan a los administradores escolares, a los educadores, a los educandos y a las familias.

## Referencias

- Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas. (2023). *Resolución 57/254*.
- Asociación para el Aprendizaje sobre el Cambio Climático (UN CC: Learn). (2017). *Más de 3200 docentes en República Dominicana fueron capacitados en educación*

- sobre el cambio climático. <https://www.unclearn.org/es/proyectos-nacionales/republica-dominicana/>
- Consejo Nacional para el Cambio Climático y el Mecanismo de Desarrollo Limpio. (2010). *Experiencias de educación, formación y sensibilización del público para la Adaptación al Cambio Climático y la Reducción del Riesgo de Desastres en América Latina y el Caribe*.
- Consejo Nacional para el Cambio Climático. (2012). *Estrategia Nacional para Fortalecer los Recursos Humanos y las Habilidades para Avanzar hacia un Desarrollo Verde con Bajas Emisiones y Resiliencia Climática*.
- Consejo Nacional para el Cambio Climático. (2021). *Estudio sobre el Nivel de Conocimiento y la Percepción de la Población Dominicana sobre el tema del Cambio Climático*. [Herramienta interactiva]. <https://cambioclimatico.gob.do/index.php/noticias/item/>
- Ley núm.1-12. (2012). *Estrategia Nacional de Desarrollo 2030*. Consultoría Jurídica del Poder Ejecutivo de la República Dominicana. G. O. núm.10656.
- Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo. (2016). *Política Nacional de Cambio Climático*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2018). *Educación sobre el cambio climático para el desarrollo sostenible: iniciativa de la UNESCO sobre el cambio climático*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura; Consejo Nacional para el Cambio Climático y el Mecanismo de Desarrollo Limpio. (2013). *Manual Cambio Climático en Aula, adaptación nacional*.

- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura; Consejo Nacional para el Cambio Climático y el Mecanismo de Desarrollo Limpio y el Mecanismo de Desarrollo Limpio. (2013).
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2023). ¿Qué es la Educación para el Desarrollo Sostenible? <https://es.unesco.org/themes/educacion-desarrollo-sostenible/comprender-EDS>.
- Organización de las Naciones Unidas. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*.
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*.
- Tejeda, F. J. (2020). *Programa Nacional de Educación en Cambio Climático para el Desarrollo Sostenible y su incidencia en la Práctica Docente. Caso de estudio: Distrito Educativo 05-05, municipio Sabana de la Mar, provincia Hato Mayor, 2018-2020*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Santo Domingo].

## Anexos

**Figura 1.** Edificio administrativo del Distrito Educativo 05-05, municipio Sabana de la Mar, provincia Hato Mayor



© Franklin Tejada, 2019.

**Figura 2.** Transformación de residuos por medio de la expresión artística. Realizado por estudiantes del nivel primario del Centro Educativo Catarey Adentro, municipio Sabana de la Mar



© Franklin Tejada, 2019.

**Figura 3.** Actividad basada en el programa ECCDS: comunitario realiza acción de campo para establecer el perfil de playa y determinar los agentes erosivos de origen natural y social



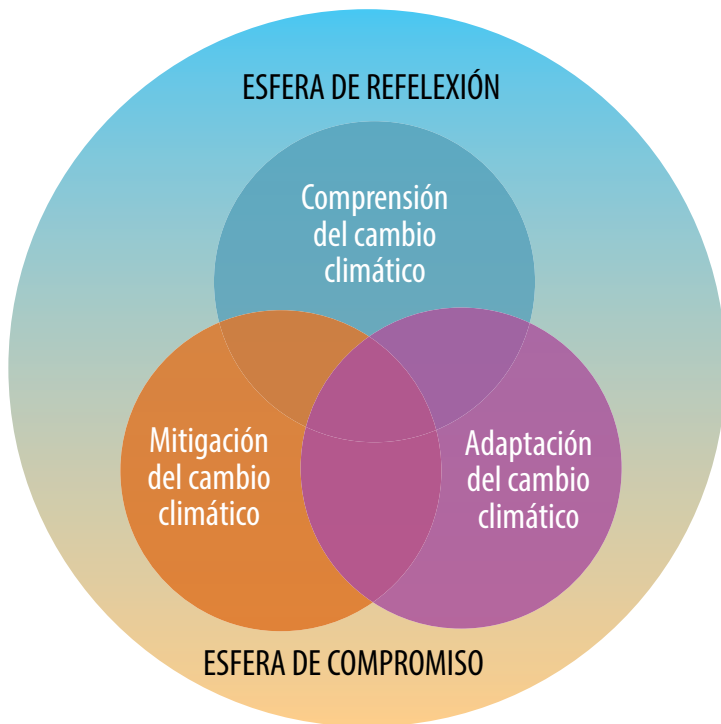
© Franklin Tejada, 2023.

**Figura 4.** Bahía La Isabela, Puerto Plata. Observación desde embarcación pesquera del proceso erosivo que compromete la salvaguarda de los bienes culturales del Parque Nacional Histórico y Arqueológico de La Isabela. Proteger el patrimonio cultural ante la variabilidad climática



© Franklin Tejada, 2024.

**Figura 5.** Esferas de reflexión y transformación del programa ECCDS



Unesco, 2012.

**Figura 6.** Estudiantes dominicanos realizan jornada de limpieza de costa en playa Montesinos, afectada por la contaminación por plástico y otros residuos depositados por el río Ozama en el mar Caribe



**Figura 7.** Jardín de juego de la Escuela Pedro Tavárez Frías, municipio Sabana de la Mar, República Dominicana



© Franklin Tejeda, 2019.

# **Motivaciones y expectativas del voluntariado de investigación en la universidad. Un estudio de caso en una investigación interdisciplinaria del Instituto Geográfico Universitario (IGU) de la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD), República Dominicana**

ESTRELLA DEL MAR TENA GRACIA

## **Resumen**

Esta investigación profundiza en las motivaciones y expectativas del voluntariado de investigación en la universidad con el fin de conocer qué factores inciden en la participación y compromiso con la investigación en estudiantes de grado. Se trata de un estudio de caso sobre un proyecto interdisciplinario del Instituto Geográfico Universitario (IGU) de la Universidad Autónoma de Santo Domingo en el que participaron estudiantes de biología, geografía, microbiología, química y educación. Los resultados revelan el interés del estudiantado participante por desarrollar competencias a partir del voluntariado de investigación y también por aportar a un proyecto real los aprendizajes obtenidos en la carrera. En conclusión, en el contexto educativo actual basado en el enfoque por competencias, promover el voluntariado de investigación universitaria se considera coherente y muy pertinente.

**Palabras clave:** voluntariado de investigación, aprendizaje universitario, interdisciplinar, educación basada en competencias.

## Introducción

El objetivo general de la investigación es evaluar si el voluntariado de investigación universitaria, dentro del marco de la educación basada en competencias, enriquece la formación de los estudiantes y mejora su preparación para enfrentar futuros desafíos tanto académicos como profesionales.

Según la Real Academia Española de la Lengua (RAE), el voluntariado se define como “conjunto de personas que se ofrecen voluntariamente para llevar a cabo una tarea”. Según la misma fuente, “una acción voluntaria es aquella que se realiza de manera espontánea y sin obligación”.

En el entorno universitario, el voluntariado es una práctica común y se encuentra profundamente arraigado en instituciones educativas como la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD) de la República Dominicana. En este centro los estudiantes tienen la oportunidad de participar activamente en diversas actividades de voluntariado, ya sea a través de grupos estudiantiles o programas más amplios con un enfoque en la responsabilidad social y comunitaria, como el Programa de Voluntariado Universitario. Este programa forma parte de la Vicerrectoría de Extensión y promueve la participación de los estudiantes en una serie de iniciativas con un impacto positivo en la sociedad, tales como la limpieza de costas y la colaboración con organizaciones no gubernamentales (ONG) como TECHO y Cruz Roja, entre otras.

Es fundamental destacar que para que una actividad sea considerada voluntaria debe cumplir con ciertos criterios esenciales: ser desinteresada, intencionada y abordar una necesidad real. En otras palabras, no debe ser simplemente un pasatiempo sin un propósito claro. El voluntariado no solo representa una valiosa contribución a la sociedad, sino que también brinda a los estudiantes una oportunidad única de enriquecimiento personal. En este sentido, el voluntariado universitario se convierte en un espacio propicio para el desarrollo de valores y actitudes fundamentales en la sociedad democrática actual, fortaleciendo así la formación integral de quienes participan, estando esto en coherencia con la misión de la UASD.

Por otro lado, la investigación científica desempeña un papel esencial en la universidad, tal como se establece en el artículo 1 del Reglamento para la Investigación Científica y Tecnológica de la UASD: “La Investigación Científica y Tecnológica es la tarea primordial de la Universidad Autónoma de Santo Domingo, cumpliendo con su responsabilidad de generar conocimiento, respaldar la enseñanza y la extensión, y formar una conciencia crítica en su cuerpo estudiantil”. Sin embargo, el Voluntariado de Investigación Universitaria, que se refiere al trabajo voluntario realizado por estudiantes de pregrado y postgrado en diversos proyectos de investigación universitaria, actualmente no tiene una estructura formal en la UASD, sino que depende de la capacidad de los institutos de investigación para ofrecerlo o de la iniciativa de profesores investigadores particulares. Cabe mencionar que no existe un concurso público para participar como voluntario de investigación, pero se pueden solicitar requisitos específicos para el voluntariado según la investigación o el instituto.

Por último, conviene resaltar que la participación en el voluntariado de investigación también está relacionada con aprendizajes académicos que serán útiles para el desarrollo de habilidades y conocimientos necesarios para la formación profesional, ya que es una oportunidad de trabajo en un contexto real. En definitiva, el voluntariado de investigación universitaria se alinea con las tres funciones fundamentales de la UASD, según lo estipulado en el Estatuto Orgánico (artículos 5 y 6): docencia, investigación y extensión.

## **Implicaciones de la promoción del voluntariado de investigación universitaria en el contexto de la educación basada en competencias**

En la sociedad actual resulta evidente que se requieren nuevas formas de adquirir conocimientos por parte de los estudiantes. Es por esto que, a nivel internacional, se están produciendo cambios en los planes de estudio y en los enfoques pedagógicos desde hace varios años. En la República Dominicana, desde 2015, se está llevando a cabo un rediseño curricular en las instituciones de educación superior con el fin de adaptar la oferta educativa a las demandas contemporáneas de la sociedad y de implementar el enfoque basado en competencias (EBC).

Tobón (2006), define las competencias como “procesos complejos de desempeño competente en un contexto específico”, lo que implica que los estudiantes deben desarrollar competencias para sobresalir en un entorno concreto. En la misma línea, el Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología de la República Dominicana (2017) define

las competencias destacando que el titulado universitario sea capaz de demostrar en el contexto laboral o en situaciones concretas sus saberes (conocimientos, habilidades y destrezas, actitudes, valores, normas) en el desempeño de sus funciones y tareas según sea la naturaleza de su cargo. El desarrollo de competencias de investigación en el entorno universitario se ha convertido en una necesidad ineludible, en respuesta a las crecientes demandas del mundo laboral actual (Hernández et al., 2021).

En este sentido, aunque la UASD comenzó el proceso de desarrollo curricular por competencias hace algunos años, el año 2023 ha sido designado por el rector actual como “Año del rediseño curricular”, lo que coloca este tema como una prioridad institucional.

Además, es relevante considerar que los programas de estudio ofrecidos por la Facultad de Ciencias culminan con la elaboración de una tesis de grado, un desafío académico que a menudo representa un verdadero reto para los estudiantes, quienes en su mayoría carecen de experiencia investigativa real. La participación en programas de voluntariado de investigación universitaria, ya sea antes o durante la fase de elaboración de la tesis de grado, podría ser un factor determinante en la preparación de los estudiantes, ya que les proporcionaría las herramientas necesarias para abordar con éxito su tesis y cultivar las habilidades de investigación requeridas para su futura carrera profesional.

Un ejemplo que respalda esta tendencia se basa en una encuesta sobre las preferencias de los estudiantes entre hacer una tesis, una estancia de investigación o una pasantía al finalizar sus estudios de grado realizada a un grupo de más de 400 estudiantes de Ciencias el 14 de octubre de 2023 por

la profesora de Física de la UASD, Erika Montero, a través de WhatsApp. Los resultados de esta revelan que el 79.8 % de los estudiantes expresaron su preferencia por participar en una estancia de investigación, en comparación con el 10.1 % que optó por una pasantía y otro 10.1% que prefirió llevar a cabo una tesis independiente. Estos resultados subrayan la inclinación de los estudiantes hacia la colaboración en equipos de investigación en lugar de emprender investigaciones autónomas desde cero.

Isabel Cantón (2004), en su reseña del libro de Biggs (2004), *Calidad del aprendizaje universitario*, subraya que lo que verdaderamente importa es la actividad que realiza el estudiante, no únicamente la labor del docente. Desde esta perspectiva, la calidad del aprendizaje universitario se extiende más allá del aula, abarcando todas las actividades universitarias. El voluntariado de investigación se configura como una estrategia de aprendizaje activo que fomenta la participación y la reflexión continua a través de actividades motivadoras y desafiantes. También, promueve habilidades de búsqueda, análisis y síntesis de información, impulsando la resolución de problemas de forma proactiva (IFE, 2020). Así, se concibe como una “tarea auténtica”, en línea con la definición de Monereo (2003), que impulsa el aprendizaje autónomo y la autorregulación, clave en la conciencia del propio aprendizaje (Hendrie y Bastacini, 2020).

## Metodología

Para la presente investigación sobre el voluntariado de investigación universitaria se tomó como caso de estudio un proyecto de investigación de la Facultad de Ciencias,

concretamente del Instituto Geográfico Universitario (IGU), titulado “Evaluación de la relación área protegida – comunidad en el marco del desarrollo local sostenible. Caso de estudio: Refugio de Vida Silvestre Gran Laguna (Comunidad Boba, Nagua)”. Es indudable que la preocupación de la geografía por el medio ambiente es una tradición epistemológica que viene de lejos, como afirma Josep Pinto en su presentación del libro *Geografía Ambiental: métodos y técnicas desde América Latina* (Reyes et al., 2017). Por ello, el proyecto pertenece a la línea de investigación del IGU sobre ordenamiento y gestión del territorio y al programa Manejo y gestión de los recursos naturales y espacios protegidos.

## Contexto donde se llevó a cabo el voluntariado

La Gran Laguna de Boba, situada al norte de Nagua, es parte de un humedal costero de 15.4 kilómetros cuadrados formado en la desembocadura de los ríos Boba y Bacuí, así como de una serie de caños como El Zanjón, Los Lebrachos o La Garza. Está formado por humedales y manglares con gran diversidad de flora y fauna (PPS/FMAM/PNUD, 2017). Se trata de una combinación de humedales lacustres y de estuario con una dinámica activa de intercambio de agua.

En cuanto al nivel de protección, la Gran Laguna, también llamada Perucho, es un área protegida desde el año 1995 que, actualmente, tiene base legal en la Ley Sectorial de Áreas Protegidas del 2004 (Ley núm. 202-04), perteneciente a la categoría IV Manejo de Hábitats/especies y subcategoría A “Refugio de vida silvestre”. Según esta ley, un

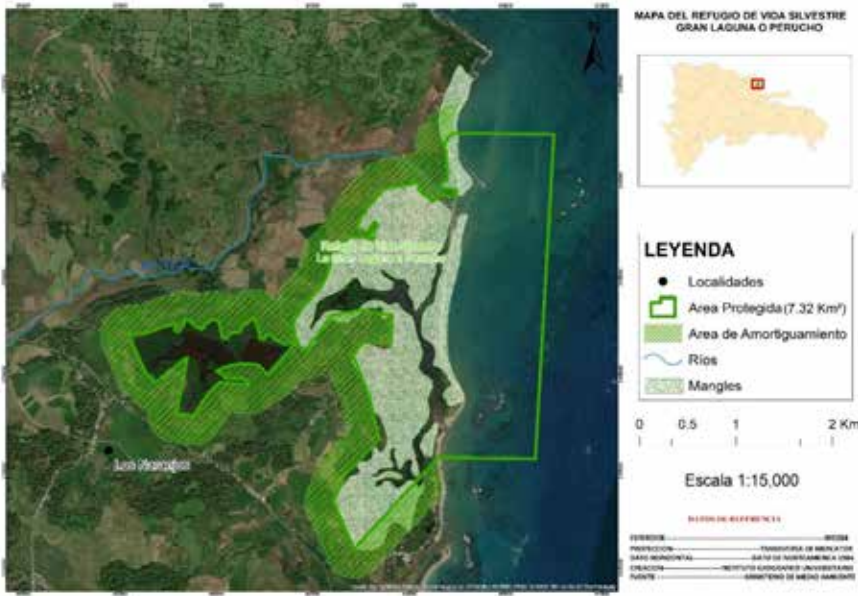
refugio de vida silvestre es un área terrestre, fluvial o marítima que sirve de hábitat o protección de especies animales o vegetales que, por su importancia, rareza, singularidad o posibilidades de extinción deben ser protegidas para preservar el equilibrio biótico ante las intervenciones humanas. La Gran Laguna tiene una superficie protegida total de 7.32 km<sup>2</sup>, siendo una extensión de 3.65 km<sup>2</sup> de superficie terrestre y 3.67 km<sup>2</sup> de superficie marina. Según datos del Ministerio de Medio Ambiente solamente 0.10 km<sup>2</sup> del área protegida está en la Cuenca Hidrográfica del Río Boba.

**Figura 1.** Fotografía de la Gran Laguna (Nagua, República Dominicana)



**Fuente:** Fotografía propia o de autor

Figura 2. Mapa del refugio de vida silvestre Gran Laguna o Perucho



Fuente: Instituto Geográfico Universitario (IGU), 2020. Mapa a escala 1:15,000

El objetivo general de la investigación era evaluar la relación entre el área protegida de la Gran Laguna y la comunidad de Boba en el marco del desarrollo local sostenible, es decir, se trata de un proyecto socioambiental. Desde el inicio, el proyecto planteaba el involucramiento de estudiantes en calidad de voluntarios. Tras llevarse a cabo la primera parte del mismo, se realizó de manera paralela esta investigación sobre el voluntariado, de manera que se recogieron datos sobre la experiencia de los voluntarios con el fin de poder mejorar el voluntariado, así como promoverlo en otros proyectos de investigación.

## Enfoque interdisciplinario del proyecto de investigación en el que participaron los voluntarios

El proyecto de investigación que se utilizó como caso de estudio es de carácter socioambiental, por lo que requiere necesariamente un enfoque interdisciplinario. Desde que el mismo se sometió a la convocatoria de financiación con fondos propios de la UASD se especificó la importancia de fomentar discusiones interdisciplinarias con otros institutos de investigación de la Facultad de Ciencias, además del Instituto Geográfico Universitario (IGU), como son el Instituto de Investigaciones Botánicas y Zoológicas (IIBZ), el Centro de Investigación de Biología Marina (CIBIMA), entre otros de la UASD que pudieran estar relacionados con el estudio. Así, en la etapa inicial del diseño metodológico en 2022, como resultado de esta estrategia, se llevaron a cabo reuniones de trabajo y discusiones académicas en el IIBZ y el CIBIMA. Además, se establecieron reuniones y vínculos permanentes con una profesora de química de la UASD especializada en química ambiental y otra de microbiología de la misma universidad experta en microorganismos extremófilos.

Estas colaboraciones interinstitucionales y las presentaciones realizadas en encuentros universitarios de socialización de proyectos permitieron la incorporación de voluntarios de diversas disciplinas. Concretamente, se contó con la participación de voluntarios de cinco carreras diferentes: geografía (5), biología (5), microbiología (3), química (2) y educación orientada a la biología y química (2); una de las voluntarias de esta última carrera en la actualidad está cursando una maestría en química para docentes por la

Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD). Cinco de los voluntarios, es decir, el 29.4 % de los voluntarios pertenecen a los institutos de investigación previamente mencionados, ya sea como voluntarios o como auxiliares de investigación. Al incluir, el proyecto está totalmente alineado con el objetivo principal del Instituto Geográfico Universitario de “contribuir a la generación de conocimientos científicos y a la formación de capacitación de profesionales en las áreas de las ciencias geográficas y afines”.

## Funciones y actividades de los voluntarios

Los voluntarios desempeñaron un papel activo principalmente en la recopilación de datos en el terreno, llevando a cabo una variedad de tareas, que incluyen:

1. Identificación de especies de flora y fauna terrestre para la caracterización ambiental exploratoria, a cargo de estudiantes de biología en su etapa final de la carrera.
2. Identificación de fauna acuática en la laguna, incluyendo macroinvertebrados, por una voluntaria auxiliar de investigación del IIBZ.
3. Identificación de actividades humanas e impactos antropogénicos en el área protegida y sus alrededores. Todos los voluntarios registraron evidencias mediante fotografías y vídeos.
4. Toma de muestras de agua realizada por estudiantes de química y microbiología.
5. Análisis microbiológico de las muestras en uno de los laboratorios de la UASD, con la supervisión de una profesora de microbiología.

6. Elaboración de mapas que representan los puntos de toma de muestras y las actividades humanas observadas en el área protegida, llevada a cabo por estudiantes de geografía.
7. Realización de entrevistas a miembros de la comunidad para la validación de instrumentos cualitativos, a cargo de estudiantes de diversas disciplinas, quienes recibieron orientación sobre técnicas cualitativas de investigación.

**Figura 3.** Estudiantes voluntarios de investigación realizando recorrido de observación sistemática por ecosistemas del área protegida



Fuente: Fotografía tomada por los voluntarios de la investigación

**Figura 4.** Estudiante de microbiología tomando muestra de agua para análisis microbiológico



Fuente: Fotografía tomada por los voluntarios de la investigación

**Figura 5.** Estudiante de microbiología realizando pruebas de bacterias en muestras de agua del área protegida



Fuente: Fotografía tomada por los voluntarios de la investigación

**Figura 6.** Estudiante de biología tomando una muestra de macroinvertebrados en la laguna del área protegida



**Fuente:** Fotografía tomada por los voluntarios de la investigación

**Figura 7.** Estudiantes realizando recorrido por ecosistema acuático del área protegida



Fuente: Fotografía tomada por los voluntarios de la investigación

## Instrumento para la recolección de datos

Esta investigación sobre el voluntariado de investigación es de tipo estudio de caso, por tanto, es cualitativa. Para la recopilación de datos se diseñó un cuestionario, utilizando la herramienta Google Form, que cuenta con 20 preguntas abiertas y cerradas. El cuestionario se estructuró en bloques de la siguiente manera: un bloque de preguntas sobre información general del estudiante (carrera, cantidad de asignaturas faltantes y lugar de residencia); una pregunta abierta de reflexión personal sobre el aporte del voluntariado a la formación profesional; un bloque de preguntas

sobre motivación; otro, acerca del nivel de participación en el proyecto; otro, sobre el nivel de satisfacción y sugerencias de mejora; otro, relativo a la participación en viajes de campo; otro, enfocado en el voluntariado de investigación en la UASD; y una última pregunta sobre el rol del voluntario de investigación.

El 16 de mayo de 2023 el cuestionario se envió al 100 % de los voluntarios y estuvo disponible durante una semana. En la fecha pautada para cerrar la recepción de cuestionarios y así proceder al análisis de datos, completaron el cuestionario 14 de 17, es decir, el 82.35% de los voluntarios, teniendo así una muestra representativa de los voluntarios de proyecto.

Al momento de realizar el voluntariado los estudiantes universitarios se encontraban en diferentes etapas de sus carreras, aunque la mayoría en la fase final de su formación: al 42.9 % les faltaba menos de 5 asignaturas; al 21.4 %, entre 5 y 10 asignaturas; al 21.4 % les faltaba entre 11 y 20 asignaturas; al 7.1 %, más de 16 asignaturas; y hay una estudiante de maestría, por lo que tiene concluida su carrera de grado.

## **Resultados**

### **Motivaciones que impulsan la participación de estudiantes de grado y postgrado**

La participación de los estudiantes de grado y postgrado en el voluntariado de investigación se vio impulsada por una serie de motivaciones que reflejan su compromiso y entusiasmo por la experiencia. En su mayoría, los factores que generaron interés entre los estudiantes fueron los siguientes: en un alto porcentaje, un 92.9 % de ellos mencionó el

deseo de participar en los viajes de campo para poner en práctica los conocimientos adquiridos en sus materias de carrera. Un 85.7 % expresó su motivación por contribuir activamente a un proyecto de investigación real, mientras que un 78.6 % vio en esta oportunidad la posibilidad de adquirir habilidades de investigación. Asimismo, un 71.4 % mencionó la importancia de practicar las destrezas necesarias en el ámbito de la investigación y aprender a recopilar datos o información en el campo. Un 57.1 % consideró que esta experiencia les brindaba la oportunidad de hacer contribuciones significativas a la sociedad y de aprender sobre metodología de investigación (Tabla 1).

Por otro lado, las motivaciones menos citadas por los estudiantes incluyeron la obtención de un certificado o carta de constancia, mencionada solo por el 7.1 % (un voluntario), y el deseo de compartir experiencias con sus compañeros durante los viajes de campo, mencionado por el 21.4 %.

En definitiva, se puede afirmar que la motivación principal para participar en el voluntariado de investigación radica en la oportunidad de aprender a investigar mientras se participa activamente en un proyecto de investigación de la vida real.

## **Expectativas y aprendizajes de los estudiantes**

Los resultados del cuestionario revelaron un alto nivel de satisfacción entre los estudiantes participantes, con una calificación promedio de 4.28 en una escala de 1 a 5, donde 1 representa “muy insatisfecho” y 5 “muy satisfecho”. El 50 % de los estudiantes indicó un nivel de satisfacción máximo, otorgando un puntaje de 5 sobre 5, mientras que el 28.6 %

señaló un puntaje de 4 sobre 5; y el 21.4 %, de 3 sobre 5. Es importante destacar que ningún estudiante calificó su nivel de satisfacción como 1 o 2, lo que sugiere que ninguno se siente poco o nada satisfecho con la experiencia de voluntariado hasta el momento (ver Figura 8 en los anexos).

En el cuestionario los estudiantes especificaron lo que más les ha gustado de su experiencia, que incluye:

- La adquisición de nuevos conocimientos.
- La oportunidad de aplicar sus conocimientos en la práctica.
- La consideración hacia personas sin experiencia en investigación para colaborar.
- La exploración y el aprendizaje en el campo de la investigación.
- La organización durante todo el proceso.
- La colaboración con otros voluntarios.
- La posibilidad de conocer a nuevas personas.
- La satisfacción de contribuir a un proyecto significativo.

Por otro lado, mencionaron lo que menos les ha gustado:

- Las dificultades personales para participar en visitas de campo.
- La sensación de no haber podido participar lo suficiente.
- La restricción de tiempo para continuar contribuyendo al proyecto.
- La duración limitada de las actividades en campo.
- La percepción de viáticos insuficientes.

Los estudiantes también ofrecieron sugerencias de mejora, que incluyen:

- La mejora del kit de campo.
- La creación de un blog para compartir experiencias.
- Un mayor seguimiento y comunicación.
- La realización de más reuniones virtuales para facilitar la coordinación y la retroalimentación.

En lo que respecta a su propio nivel de involucramiento, el 64.3 % de los estudiantes afirmó haber participado en todo lo que les ha sido posible, mientras que el 21.4 % expresó su deseo de participar aún más (ver Figura 9 en los anexos). Este compromiso activo de los estudiantes en diversas actividades del proyecto de investigación demuestra el valor del voluntariado para proporcionar oportunidades significativas para el desarrollo de habilidades y competencias.

Los estudiantes consideraron que la experiencia de voluntariado de investigación universitaria les aportó una valiosa experiencia práctica para impulsar futuros proyectos y los preparó de manera efectiva para su futura inserción en el mundo laboral o para emprender estudios de postgrado. Destacaron la posibilidad de aplicar sus conocimientos y habilidades mientras aprenden a investigar y resaltaron la importancia del trabajo en equipo porque les brinda la capacidad de gestionar tareas en un entorno colaborativo y entender el trabajo desde una perspectiva más amplia. En el contexto de este proyecto interdisciplinario, valoraron la oportunidad de establecer conexiones con profesionales de diferentes áreas. De hecho, el 100 % de los estudiantes encuestados consideró importante que los investigadores incluyan voluntarios

de investigación en sus proyectos. En palabras de uno de los voluntarios: “Es una gran oportunidad”.

Cuando se consultó a los voluntarios sobre qué dirían a otros investigadores de la UASD, sus respuestas enfatizaron la importancia de incluir a voluntarios en proyectos, destacando la colaboración motivada y con conocimientos que aportan a ambas partes. En palabras de los voluntarios: “Incluyan a voluntarios en todos sus proyectos, si es posible”; “Esto ayudaría a sus estudiantes a tener una experiencia muy valiosa que aporta directamente a su crecimiento como profesionales”; “Los estudiantes estamos deseosos de tener una primera experiencia de investigación”. Además, un voluntario describió la relación como “ganar-ganar” ya que beneficia tanto a los estudiantes como a los equipos de investigación.

El voluntariado de investigación universitaria es una actividad integral que aborda aspectos específicos de la futura profesión de los estudiantes, al tiempo que fomenta el desarrollo de diversas habilidades necesarias para el mundo laboral, como afirmó uno de los voluntarios: “El voluntariado de investigación ayuda a los estudiantes a adquirir nuevos conocimientos y a desarrollarse profesionalmente en la investigación. También brinda a los investigadores la oportunidad de contar con jóvenes llenos de conocimiento teórico y entusiasmo por aplicar lo aprendido en sus carreras, así como de trabajar para dar lo mejor de sí en cada proyecto”.

Un estudiante expresó claramente la importancia de esta experiencia al afirmar que: “Todo estudiante de ciencias debería participar en proyectos de investigación de manera casi obligatoria”. Esta perspectiva subraya el valor intrínseco de la investigación en la formación de los estudiantes.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio confirman que el voluntariado de investigación universitaria en la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD) tiene un impacto significativo en el aprendizaje de los estudiantes al ofrecer una experiencia integral que aborda aspectos específicos de sus futuras profesiones.

La promoción del voluntariado de investigación universitaria se presenta como una opción coherente y altamente pertinente, ya que proporciona a los estudiantes una oportunidad valiosa para su crecimiento personal y profesional, al mismo tiempo que contribuye al avance de la investigación en la universidad. La participación en proyectos de voluntariado de investigación universitaria no solo enriquece las competencias científicas de los estudiantes, sino que también desarrolla la competencia de trabajo en equipo, la cual es esencial en el mundo laboral actual. Esta necesidad plantea el desafío de reevaluar las estrategias pedagógicas para fomentar la adquisición de competencias investigativas y de trabajo en equipo durante las carreras universitarias.

El caso de estudio en el Instituto Geográfico Universitario (IGU) se trata de un proyecto interdisciplinario que demuestra que los estudiantes de diversas carreras, cuando trabajan en colaboración, aplican sus conocimientos en la práctica y adquieren nuevas habilidades, lo que enriquece su formación y los prepara para enfrentar desafíos multidisciplinares. La perspectiva de los estudiantes sobre la inclusión de voluntarios en proyectos de investigación de la universidad es sumamente positiva, ya que consideran que esta

relación es “ganar-ganar”, en la que tanto los investigadores como los estudiantes se benefician mutuamente.

En cuanto a la motivación, los estudiantes que participaron en el voluntariado de investigación presentaron diversas motivaciones, todas centradas en la búsqueda de experiencia práctica y aprendizaje real. El deseo de contribuir a proyectos de investigación reales, aplicar conocimientos adquiridos en sus carreras y desarrollar habilidades investigativas se destacan como factores motivadores clave.

La satisfacción de los estudiantes participantes en el voluntariado se reflejó en una calificación promedio de 4.28 sobre 5. Esto demuestra que la mayoría de los participantes se sintió muy satisfecha con su participación. Los estudiantes también demostraron un fuerte compromiso con los proyectos y expresaron su deseo de participar de manera aún más activa. Se resaltaron varios aspectos positivos de la experiencia, como la adquisición de nuevos conocimientos y el desarrollo de habilidades blandas y transversales como el trabajo en equipo, la comunicación y la resolución de problemas; esenciales en el mundo laboral. Además, consideraron que esta experiencia enriquecedora les permite contribuir al desarrollo del conocimiento en su país.

Finalmente, se concluye que la participación en el voluntariado de investigación prepara efectivamente a los estudiantes para sus futuros roles profesionales y les proporciona las herramientas esenciales para abordar proyectos de investigación y tesis de grado. Además, fomenta el desarrollo de competencias fundamentales en los estudiantes, capacitándolos para enfrentar los desafíos del mundo laboral. Este estudio confirma que el voluntariado de investigación universitaria

representa una oportunidad valiosa para el crecimiento integral de los estudiantes, el avance de la investigación y la preparación efectiva para su futura vida profesional.

## Recomendaciones

Tras el análisis de las experiencias y opiniones de los voluntarios de investigación en el estudio de caso, se pueden plantear las siguientes recomendaciones:

1. Impulsar el voluntariado de investigación de la UASD como parte fundamental del aprendizaje de competencias profesionales para todos los estudiantes universitarios. Esto requerirá una articulación y colaboración entre el Programa de Voluntariado y la Vicerrectoría de Investigación.
2. Diseñar incentivos para motivar a los institutos de investigación de la UASD y a los investigadores a incluir voluntarios en sus proyectos, ya que esto implica un trabajo de coordinación y gestión adicional a la propia investigación disciplinar.
3. Motivar activamente a los estudiantes para que participen en este tipo de voluntariado, dado los beneficios que les aporta a corto y largo plazo.
4. Realizar investigaciones sobre voluntariado de investigación en la universidad, teniendo en cuenta que la presente investigación es un caso específico para obtener datos adicionales que respalde la toma de decisiones relacionadas con el voluntariado de investigación.

## Referencias

- Arias Montoya, L., Portilla, L., & Florez de Trujillo, M. E. (2007). Competencia y empleabilidad. *Scientia et Technica*, 13(37), 379-382. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84903765>
- Cantón Mayo, I. (2004). Calidad del aprendizaje universitario de John Burville Biggs. Reseña. *Educatio Siglo XXI*, (22), 272-275. <https://revistas.um.es/educatio/article/view/109>
- Espinoza Freire, E., Rivera Ríos, A. R. & Tinoco Cuenca, N. P. (2016). Formación de competencias investigativas en los estudiantes universitarios. *Atenas*, 1(33). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=478049736004>
- Hendrie Kupczynszyn, K. N & Bastacini, M. C. (2020). Autorregulación en estudiantes universitarios: Estrategias de aprendizaje, motivación y emociones. *Revista Educación*, 44 (1), 1-29. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-26442020000100327&script=sci\\_abstract&tlng=es](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-26442020000100327&script=sci_abstract&tlng=es)
- Hernández Sánchez, I., Nelson, L.; Herrera, H & Rodríguez, M. (2021). Estrategias pedagógicas para el aprendizaje y desarrollo de competencias investigativas en estudiantes universitarios. *Revista de Ciencias Sociales*, 27(2), 242-255. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/rcs/article/view/35911>
- Instituto del Futuro de la Educación (IFE). (2020). *Glosario de Innovación Educativa*. Observatorio de Innovación Educativa.

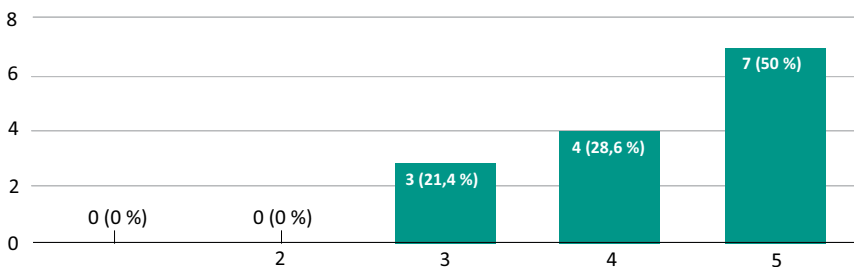
- Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología [MESCyT]. (2017). Guía para el Diseño de Planes de Estudio de las Carreras de Educación (versión preliminar).
- Monereo, C. (2003). La evaluación del conocimiento estratégico a través de tareas auténticas. *Revista Pensamiento Educativo*, 32,71-89. <https://ojs.uc.cl/index.php/pel/article/view/26499>  
[https://www.researchgate.net/publication/260877790\\_La\\_evaluacion\\_del\\_conocimiento\\_estrategico\\_a\\_traves\\_de\\_tareas\\_autenticas](https://www.researchgate.net/publication/260877790_La_evaluacion_del_conocimiento_estrategico_a_traves_de_tareas_autenticas)
- PPS/FMAM/PNUD. (2017). *La Gran Laguna de Boba. Programa de Pequeños Subsidios del Fondo Para el Medio Ambiente Mundial, del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo*. <http://ppsdom.org/la-gran-laguna-de-boba/>
- Reyes Hernández, H., Morera Beita, C., & Reyes Pérez, O. (Ed.). (2017). *Geografía Ambiental: métodos y técnicas desde América Latina*. Universidad de Costa Rica.
- Tobón Tobón, S. (2006). Aspectos básicos de la formación basada en competencias. Talca: Proyecto Mesesup. <https://www.uv.mx/rmipe/files/2019/07/Aspectos-basicos-de-la-formacion-basada-en-competencias.pdf>

## Anexos

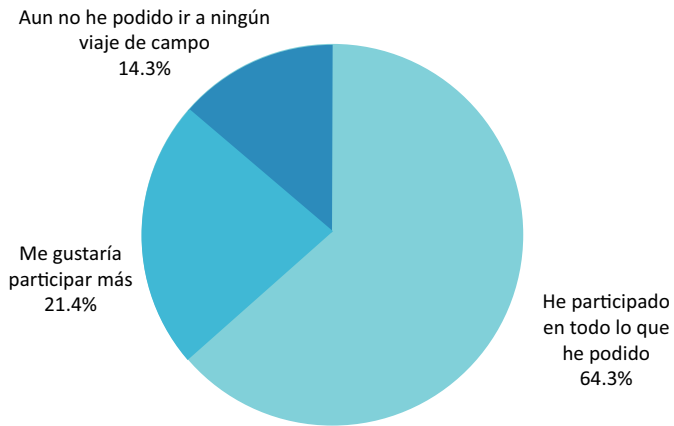
**Tabla 1.** Motivaciones para interesarse por el voluntariado de investigación en el Proyecto de la Gran Laguna (los voluntarios podían marcar más de una opción)

| Motivación (opciones del cuestionario)  | % de voluntarios |
|---|------------------|
| Los viajes de campo para poder poner en práctica lo aprendido en materias de la carrera | 92.9 %           |
| Aportar algo en un proyecto de investigación real                                       | 85.7 %           |
| Aprender a investigar   | 78.5 %           |
| Aprender a recoger datos o información en campo   | 71.4 %           |
| Practicar las destrezas necesarias en investigación                                     | 71.4 %           |
| Hacer aportes a la sociedad   | 57.1 %           |
| Aprender metodología de la investigación  | 57.1 %           |
| Los viajes de campo para compartir con compañeros                                       | 21.4 %           |
| Obtener un certificado o carta de constancia  | 7.1 %            |

**Figura 8.** Grado de satisfacción de los voluntarios



**Figura 9.** Nivel de participación autorreferido por los voluntarios





# **Cambios en los trazados de las líneas de costa, formación del *beachrock* y diferencias granulométricas en playa Najayo San Cristóbal, República Dominicana. Caso: playas Carlos Pinto y Los Pescadores**

ANA HILDA VALERA ARIAS

## **Resumen**

De acuerdo con los cambios observados en las líneas de costa de la playa Najayo durante el periodo 2013-2019, comparados y analizados con imágenes satelitales de años anteriores, se observó que tal litoral se encuentra en un proceso de retrogradación casi todo el año. Este fenómeno es más visible durante los meses junio-agosto, esto, confrontado con los demás meses, donde presenta una ligera progradación desde septiembre a diciembre de poco menos de 20 metros. En tal sentido, se puede atribuir a los fenómenos naturales que afectan a la región, por ejemplo, la temporada ciclónica donde los cambios fueron relevantes, La playa Carlos Pinto presentó mayor variación en sus líneas y un perfil cóncavo, posiblemente, por la dirección de los vientos (este-oeste) o por la corriente marina que se encarga de erosionar ese espacio; también, por encontrarse en su territorio la desembocadura del arroyo Agua Dulce, el cual es de curso temporero y se

abre paso con facilidad hacia el mar en tiempos de lluvia. Sus sedimentos tienen medidas promediadas entre los 9 y los 15 milímetros de largo y de 8 a 13 milímetros de ancho y, posee rocas que descienden hacia el mar, que se cree fueron originadas por la compactación de la arena con el carbonato de calcio. Para analizar el caso de estudio se emplearon varias técnicas, entre las que se incluyen fotogrametría, navegación por satélite, teledetección, sistemas de información geográfica y estadística. Estas generaron una serie de resultados que permitieron el desarrollo de la investigación y la producción de las informaciones presentadas aquí.

**Palabras clave:** dinámica costera, *beachrock*, manglar, erosión, playa.

### **Abstract**

According to the changes observed in the coastlines of Najayo beach during the period 2013-2019, compared and analyzed with satellite images from previous years, it was observed that such coastline is in a retrogradation process almost all year round. This phenomenon is more visible during the months June-August, compared to the other months, where it presents a slight progradation from September to December of just under 20 meters. In this sense, can be attributed to the natural phenomena that affect the region for example during the cyclonic season, in which the changes were relevant, Carlos Pinto Beach presented greater variation in its lines and a concave profile, possibly, due to the direction of the winds (east-west) or due to the sea current that is responsible for eroding that space; also because the mouth of the Agua Dulce stream is located in its

territory, which is a temporary course and easily makes its way to the sea in rainy weather. Its sediments average measurements between 9 to 15 millimeters long and 8 to 13 millimeters wide and it has rocks that descend towards the sea, which are believed to have been caused by the compaction of sand with calcium carbonate. Various techniques were used to analyse the case study, including photogrammetry, satellite navigation, remote sensing, geographic information systems and statistics. These generated a series of results that allowed the development of the research and the production of the information presented here.

**Keyword:** coastal dynamics, beachrock, mangrove, erosion, beach.

## **Introducción**

El mar constituye un elemento fundamental del conjunto de componentes de la superficie terrestre, capaz de generar cambios en las líneas de costas, sean estas en una isla o continente (Kokot, Codignotto & Elissondo, 2004)<sup>1</sup>. Según Suárez de Vivero (1999)<sup>2</sup>, el término costa puede aludir a la “franja de tierra que bordea el mar o a la zona de contacto entre el medio marino y el medio terrestre”. También se debe tener en cuenta que la línea de costa puede variar en un instante o con el paso de los años, ya sea por la dinámica litoral o por causa de fenómenos naturales, que pueden

---

<sup>1</sup> Kokot, R. R., Codignotto, J. O., y Elissondo, M., 2004.

<sup>2</sup> Suárez de Vivero, J. L., 1999.

traer como posible consecuencia la erosión o regresión de la misma (J. Codignotto, 1997; Kokot, 2004)<sup>3</sup>.

La erosión costera, según Kokot (2004)<sup>4</sup>, es el resultado de un exceso de remoción de sedimentos en comparación con el aporte suministrado en un área específica durante un período determinado. Este proceso involucra tanto la emergencia como la sumersión de sedimentos en las orillas del mar o la playa, lo que mantiene en constante movimiento el límite exacto de la costa. Para analizar la línea de costa, varios autores han empleado fuentes como imágenes satelitales o fotografías aéreas históricas, además, se llevan a cabo observaciones y mediciones a lo largo de un período de tiempo determinado para identificar las causas de estos cambios (Cervantes Guerra, et al., 2009; Esquer, et al., 2018; Hernández Santana, et al.)<sup>5</sup>.

La costa como unidad geomorfológica se mantiene en constante estado de evolución. La importancia de conocer hacia dónde se desplaza más y qué forma esta va adquiriendo, permite diferenciar el tipo de costa que, de acuerdo con J. Codignotto (1997)<sup>6</sup>, puede clasificarse como: costa en progradación, costa estacionaria y costa en retrogradación. Del mismo modo, el autor hace énfasis en la importancia de comprender los factores que inciden en este proceso y las causas que lo producen, además de incluir posibles formaciones geoquímicas que se pueden producir

---

<sup>3</sup> Codignotto, J., 1997.

<sup>4</sup> Kokot, R. R., 2004a.

<sup>5</sup> Cervantes, et al., 2009.

<sup>6</sup> Kokot, R. R., 2004b.

en la zona producto de estos cambios, como es el caso de la roca de playa.

De acuerdo con Aliotta, Spagnuolo, & Farinati (2009)<sup>7</sup>, las rocas de playas o *beachrock* son formaciones sedimentológicas comunes que evidencian un proceso erosivo del litoral, las cuales se dieron lugar en un ambiente geoquímico que enmarcó un período de evolución continua que pudo abarcar varias etapas del tiempo geológico. Es posible que durante ese proceso la arena de la playa fuera compactada por medio de cemento carbonático y al pasar varias épocas afloraron.

En la isla de Santo Domingo las formaciones arrecifales o rocas de playas datan del Neógeno y el Período Cuaternario. Un ejemplo de estas formaciones, según Díaz de Neira (2007-2010)<sup>8</sup>, es La Isabela, del Pleistoceno; formación carbonatada de origen arrecifal, caracterizada por su riqueza en corales de diversas tallas. Aflora en diferentes tipos de relieves, conformando una estructura de arrecifes escalonados que descienden hacia el mar (Figura 1).

El litoral costero de la parte sur de la República Dominicana se caracteriza por pequeños acantilados, playas de origen aluvial y dunas extensas (Abreu, 1999)<sup>9</sup>, además mareas con oleajes extremos típicos del mar Caribe. No obstante, la ecología actúa como componente categórico en el microclima de una zona, resultado de la diversidad que esta puede aportar. Por tal motivo, es necesario conocer el tipo

---

<sup>7</sup> Aliotta, S., Spagnuolo, J. O., & Farinati, E. A., 2009.

<sup>8</sup> Díaz de Neira, A., 2007-2010.

<sup>9</sup> Abreu, L., 1999.

de vegetación, ya que, es imprescindible sobre la arena para la conservación de los sedimentos, los cuales pueden desvanecerse a consecuencia de la erosión del viento y la lluvia (D’Croz, 1985)<sup>10</sup>.

De acuerdo con Cámara Artigas (1997)<sup>11</sup>, los litorales de la isla se caracterizan por tener plantas propias de la familia *Polygonaceae* o *Rhizophoraceae*, como la *cocoloba\_uvifera* (uva de playa) (Figura 2) y el mangle rojo (Figura 3). Asimismo, la vegetación cercana a aguas dulces o saladas son denominadas bosques de manglares, que suelen encontrarse en algunas dunas costeras de la parte sur del país, principalmente en las riberas y desembocaduras de cuencas lacustres. Según Polanía y Nat (1998)<sup>12</sup>, estos tipos de bosques son asociaciones vegetales que prosperan en las costas tropicales y subtropicales del mundo, sin embargo, en la isla de Santo Domingo existe una tipología diferente en dichos espacios costeros.

La playa de Najayo se encuentra ubicada en la sección del mismo nombre, perteneciente al municipio San Gregorio de Nigua, provincia San Cristóbal, en el sur de la República Dominicana. Desde una perspectiva fisiográfica, se ubica en la llanura costera del Caribe, en las coordenadas aproximadas 18°17’40” latitud norte y 70°06’02” longitud oeste. Según el mapa geológico de la isla de Santo Domingo (Abad de los Santos, 2007–2010)<sup>13</sup>, se estima que la formación del relieve costero de Najayo data de la era Cenozoica,

---

<sup>10</sup> D’Croz, L., 1985.

<sup>11</sup> Cámara Artigas, R., 1997.

<sup>12</sup> Polanía, J., & Nat, R., 1998.

<sup>13</sup> Abad de los Santos, M., 2007–2010.

período Cuaternario, entre las épocas Eoceno-Mioceno. Este relieve está compuesto por arena y gravas bioclásticas formando el cordón litoral, además de conglomerados, gravas, arenas de fondo de valle, calizas arrecifales, calcáreas y calcarenitas (Figura 4).

## Metodología

Para analizar el caso de estudio se emplearon varias técnicas, entre las que se incluyen fotogrametría, navegación por satélite, teledetección, sistemas de información geográfica y estadística. Estas generaron una serie de resultados que permitieron el desarrollo de la investigación y la producción de informaciones.

Los cambios en el trazado de las líneas de costa se analizaron utilizando imágenes satelitales de Landsat 8 adquiridas entre los años 2013 y 2019. De cada escena se extrajo la línea de costa empleando el algoritmo CoastSat, el cual es un conjunto de herramientas escritas en *Python*, que permite al usuario obtener series de tiempo de la posición de la costa (Vos et al., 2019)<sup>14</sup>.

Al delimitar las líneas de la costa, posteriormente se utilizó la aplicación QGIS (QGIS Development Team, n.d.)<sup>15</sup> donde se seleccionaron los trazados de mayor precisión teniendo como referencia la línea más antigua (2013). Dentro de dicho entorno gráfico se digitalizaron 25 transectos perpendiculares a la dirección general del diseño. Finalmente,

---

<sup>14</sup> Vos, K., Splinter, K., Leaman, C., & Turner, I., 2019.

<sup>15</sup> QGIS y otros, Equipo de desarrollo de. (s. f.).

tanto los transectos como las líneas fueron analizadas en R utilizando el script RCoastSat (Batlle, 2020b; R Core Team, 2020)<sup>16</sup>, el cual produjo resultados gráficos que facilitaron la interpretación.

Asimismo, se colectaron siete muestras de sedimentos, que incluyeron tanto arenas como gravas, las cuales fueron seleccionadas en función de tres áreas con respecto al mar (canal, berma y duna de playa) e identificadas con un código de lugar (Figura 5). Dichas muestras fueron depositadas en bolsas *Whirl Pak* de 23 cm L x 11.5 cm W, con 0.064 mm de grosor y 532 ml de capacidad. También, se tomaron las coordenadas de cada punto con el receptor GPS convencional del teléfono móvil y se midieron los clastos (en milímetros) presentes con una regla en dos ejes largo y ancho. Estos datos fueron rellenados en un formulario electrónico para cada muestra, utilizando la aplicación *ODK Collection* (Singh, 2013)<sup>17</sup> descargada en el teléfono. De igual manera, se extrajo por medio de un martillo un fragmento del *beachrock* (Figura 6) al cual se le aplicó ácido clorhídrico para determinar si contenía carbonato. Finalmente, para tener datos recientes del perfil de la playa, se realizó un vuelo de dron y se tomaron fotografías de la zona.

Se tomaron 136 fotografías aéreas verticales, de las cuales 58 fueron de la playa Carlos Pinto (extremo suroccidental) y 78 la de Los Pescadores (extremo nororiental). Estas fotografías se procesaron utilizando *OpenDroneMap* para generar modelos digitales de superficie (DSM, por sus siglas en

---

<sup>16</sup> Batlle, J. R. M., 2020b.

<sup>17</sup> Singh, H., 2013.

inglés) y ortofotografías. Los DSM fueron empleados en la extracción de perfiles topográficos de la playa por medio de transectos utilizando el script de ayuda *BeachProfile* (Batlle, 2020a)<sup>18</sup>, y las ortofotografías se emplearon para evaluar el aspecto general de la playa (Figura 7). El script *BeachProfile* genera perfiles de playa de forma dimensional con una misma o diferentes escalas, al igual que la concavidad que muestra cada una.

## **Resultados**

Los resultados generados se agrupan en tres subconjuntos: cambios de la línea de costa, análisis granulométrico y formaciones de rocas en el centro de la playa, además de la restitución fotogramétrica para la obtención de información tridimensional.

### **Cambios de la línea de costa**

Los trazados de las líneas de costa y los 25 transectos permitieron reconstruir una serie temporal de la dinámica del litoral de Najayo (Figura 8). Estos transectos muestran un esquema del cambio de la costa por trimestre de cada año (Figura 9). También se identificaron los sectores de la playa más susceptibles al cambio y las épocas del año de mayor actividad (Figura 10). De manera global, los cambios más prominentes ocurrieron en el tercer cuatrimestre (septiembre-diciembre) de cada año, en los que comúnmente

---

<sup>18</sup> Batlle, J. R. M., 2020a.

predominó la progradación en casi todos los años. Por el contrario, durante los meses junio-agosto, se registró una dinámica predominante de retrogradación.

En cuanto al perfil de playa, las pendientes generadas de manera dimensional presentaron inclinaciones a escalas diferentes en varios transectos, a medidas en que avanzaba al extremo occidental (Figura 11). Por consiguiente, el declive más bajo estuvo en los espacios del 1 hasta el 10 con medidas desde  $-6.3^\circ$  y  $-14.11^\circ$ , el alto desde el 41 al 48 con  $-11.78^\circ$  y  $-19.99^\circ$  aproximadamente (Figuras 12 y 13). En relación con el índice de concavidad, esta mostró un perfil cóncavo con inclinaciones de poco más de  $-0.01^\circ$  y menos de  $-0.51^\circ$  (Figuras 14 y 15).

## **Análisis granulométrico**

El tamaño de los sedimentos presentó variaciones en cada punto de muestreo (Figura 16), donde se resumen los estadísticos y tamaños de muestra en cada una de las localidades de colecta (Figuras 17 y 18). La playa Los Pescadores registró los valores extremos de los clastos, tanto de ancho como de largo. Por otra parte, en las muestras de la playa Carlos Pinto, los clastos fueron más largos en promedio que en la playa Los Pescadores.

En los diagramas de caja y en los histogramas se observa que las muestras presentan sesgos hacia la derecha o positivo en ambas playas (Figuras 19 y 20). Adicionalmente, se identificó la distribución por cuartiles de las mediciones según la playa (Figura 21). En la playa Los Pescadores el 25% más pequeño de los clastos alcanzó 10 mm de largo y 7 mm de ancho, la mediana (el valor que mide la muestra en dos partes iguales) fue de 13 mm y 10 mm para el largo y el ancho,

respectivamente, mientras que el tercer cuartil, es decir, el 75% más pequeño de los clastos medidos tenía 15 mm o menos de largo y 12 mm de ancho. En tanto que en Carlos Pinto la mediana fue de 15 mm y 9 mm de largo y ancho respectivamente, y el primer cuartil de 13 mm de largo y 8 mm de largo aproximadamente.

### ***Beachrock* (rocas de playa)**

Las rocas emergidas y sumergidas en la playa Carlos Pinto se ubican en el centro de la costa y afloran someramente en pequeños bancos de la playa, excepto las que se encuentran cerca de los pequeños acantilados. Se extienden desde la superficie terrestre hacia el mar, principalmente desde la desembocadura de dos cañadas, la cual se define como cuerpo de agua de curso temporero que circula sobre la superficie y desemboca en otra masa de agua sea dulce o salada.

### **Discusión**

Los cambios en la costa se atribuyen a diferentes fenómenos que pueden dejar consecuencias temporales o permanentes en un espacio determinado, por lo que, es factible identificar las variaciones en los trazados de las líneas, los lugares vulnerables y en qué épocas de cada año se reflejaron. De igual modo, es posible examinar la granulometría de la zona, el perfil que proyecta la playa, además de la formación de las rocas en áreas específicas y así encontrar factores explicativos a cada uno de estos hechos. De acuerdo con Domínguez et al. (2004)<sup>19</sup>, los cambios costeros son por

---

<sup>19</sup> Domínguez, L., Gracia, F., & Anfuso, G., 2004.

causas de factores geomorfológicos y dinámicos de índole local, así como regional que darán variaciones de manera temporal afectando zonas, generado por periodos erosivos concentrados en el tiempo (días, semanas).

Los cambios presentados en las líneas de costa y en épocas específicas, probablemente en su momento sean producto de fenómenos atmosféricos (tormentas/huracanes). De acuerdo con Domínguez et al. (2004)<sup>20</sup>, estos fenómenos originan fuertes oleajes que modifican la playa en un periodo determinado. Esto hace referencia a que en el cuatrimestre junio-septiembre de todos los años se registró en todos los trazados un predominio de retrogradación, exceptuando, la temporada del año 2016 que fue la que más cambios mostró superando los 20 m de distancia. Esto causado, posiblemente, por el paso del huracán Matthew (categoría tres), el cual se encontraba al suroeste de Santo Domingo, de acuerdo con Caraballo (2016)<sup>21</sup>. Esos cambios fueron relevantes en áreas específicas de la costa, por ejemplo, la playa Carlos Pinto fue más propensa en mostrar alteraciones, por la dirección de los vientos y la corriente marina que van erosionando la morfología del litoral. Según Domínguez et al. (2004)<sup>22</sup>, el viento y el oleaje provocan concentración o disipan energía, los cuales determinarán mayor o menor erosión e incluso sedimentación.

Por otra parte, la playa presentó un perfil cóncavo donde la pendiente tomó altura a medida que se acercaba a la

---

<sup>20</sup> Domínguez, L., Gracia, F., & Anfuso, G., 2004.

<sup>21</sup> Caraballo, J., 30 de septiembre de 2016.

<sup>22</sup> Ibidem (véase ref. 75).

desembocadura del arroyo Agua Dulce en el extremo occidental. Se le puede atribuir estas características a la erosión causada por el oleaje, al viento y la corriente marina que, de acuerdo con Lorenzo et al. (2003)<sup>23</sup>, se deben a la deriva litoral y puede ser diferente durante cada estación del año.

En cuanto a las variaciones en los tamaños presentados de los depósitos de sedimentos en la playa Najayo, probablemente, sean inusuales. En el caso de la playa Los Pescadores, que posee los valores más extremos en cuanto a largo y ancho, se deba a la dinámica de transporte de sedimento existente en la zona, debido a que el arroyo Rolón mantiene su recorrido (de forma lenta) hacia el mar, sedimentando la costa constantemente.

En relación con la playa Carlos Pinto que obtuvo el promedio más largo y ancho, se le puede atribuir al flujo de material arrastrado por el arroyo Agua Dulce en su tiempo de caudal. De acuerdo con Kokot (2004)<sup>24</sup> “las aguas continentales son las principales fuentes de aportación sedimentaria en la costa y los mismos son originarios en periodos donde las condiciones climáticas eran diferentes de las actuales”. De ahí, las diferencias en los clastos. Influye, además, el tamaño de la cuenca que en el caso del arroyo Agua Dulce es de menor dimensión que el arroyo Rolón y los fenómenos naturales, razón de que en ese tiempo el mar excede su límite y lanza escombros en toda la ensenada.

Por otra parte, las rocas de playa se encuentran ubicadas en el espacio de una cañada y vierte sus aguas al mar,

---

<sup>23</sup> Lorenzo, F., Alonso, A., & Pagés, J. L., 2003.

<sup>24</sup> Kokot, R. R., 2004.

extendiéndose hacia el centro de la costa. Posiblemente, estas se formaron por la compactación de la arena con el carbonato de calcio. Es factible que en este proceso de fosilización el agua continental circulara de manera superficial por rocas calizas arrecifales. El *beachrock* presenta rocas alteradas de basaltos, fósiles y tonalitas las cuales probablemente emanaron del continente y, eventualmente, fueron llevadas hasta ese lugar por la deriva continental, por la cañada que desemboca en el mar o por un arroyo o río que tal vez hoy ya no fluye en el lugar.

## Conclusiones

Los cambios observados en las líneas de la costa de playa Najayo responden a la interacción de fenómenos atmosféricos, como tormentas y huracanes, y procesos geomorfológicos, como la erosión y la sedimentación. Estos factores generan modificaciones temporales o permanentes en las líneas de costa, con períodos de retrogradación más acentuados en meses específicos, como se evidenció en el retroceso de más de 20 metros durante el paso del huracán Mathews en 2016. El análisis granulométrico revela que el transporte sedimentario por los arroyos Rolón y Agua Dulce influye en el ancho y perfil de las playas, mientras que la formación de *beachrock* refleja la compactación de materiales arrastrados por corrientes marinas y fluviales. Es decir, las dinámicas costeras son el resultado de la interacción continua entre factores atmosféricos y sedimentarios que varían según la estación del año y la actividad natural de la zona, y afectan la estructura de las playas.

**Figura 1.** Afloramiento de rocas playa Najayo



**Figura 2.** Vegetación dunas de playa



Fotografías: Fotografías propias

Figura 3. Manglar



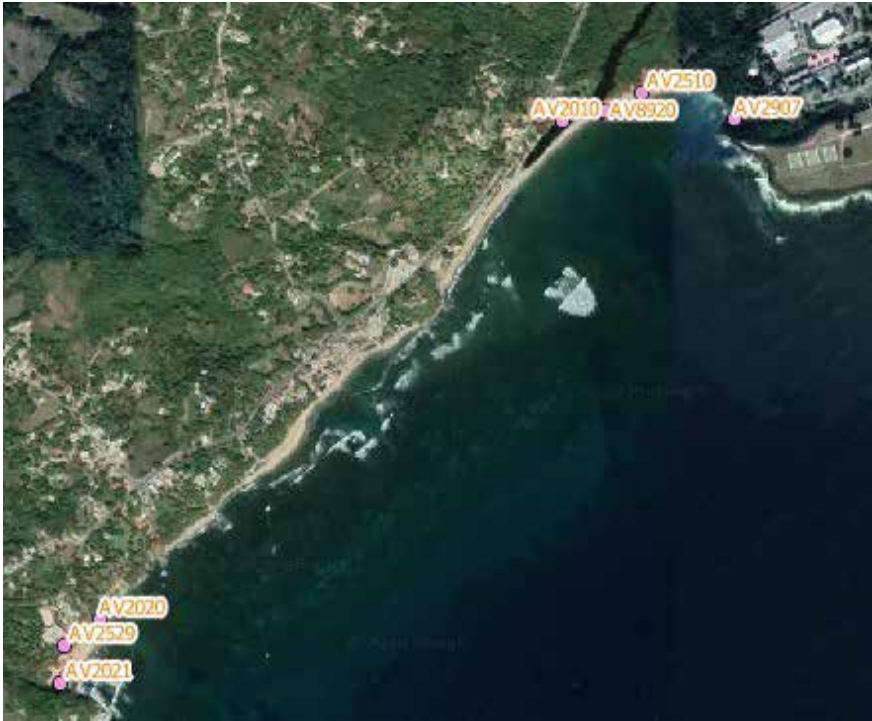
Fotografía: Fotografía propia

Figura 4. Mapa geológico escala 1:50,000 (hoja Nizao)



**Fuente:** Abad de los Santos, M. (2007–2010). Mapa Geológico de la República Dominicana a escala 1:50.000 de la hoja n° 6170-I (Nizao) y Memoria correspondiente. Santo Domingo: Proyecto 1B de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN. Servicio Geológico Nacional.

Figura 5. Localización de los puntos de colectas



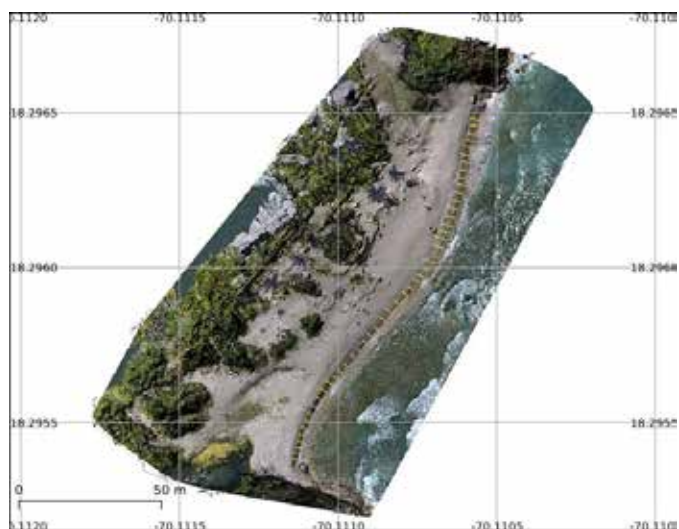
Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Composición de la roca de playa



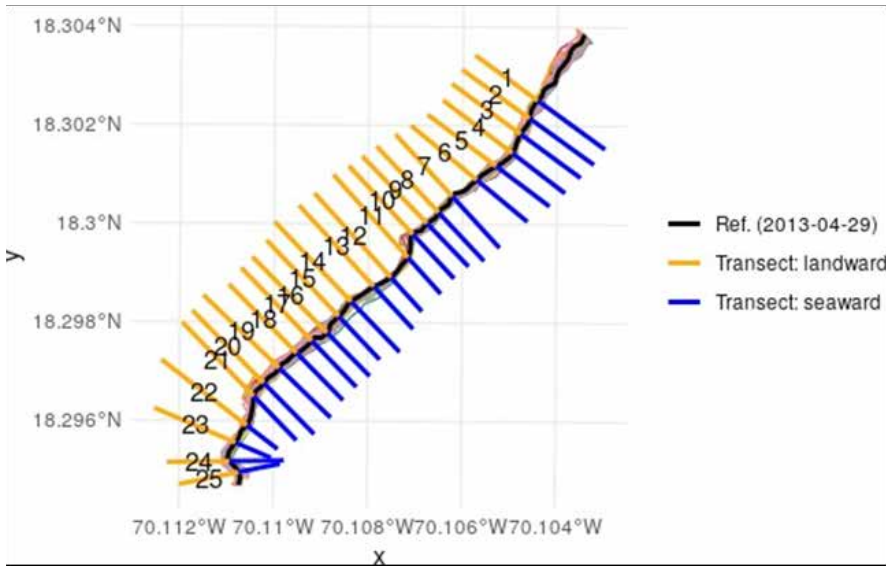
Fuente: Fotografía propia

Figura 7. 48 transectos para la construcción del perfil de playa Carlos Pinto



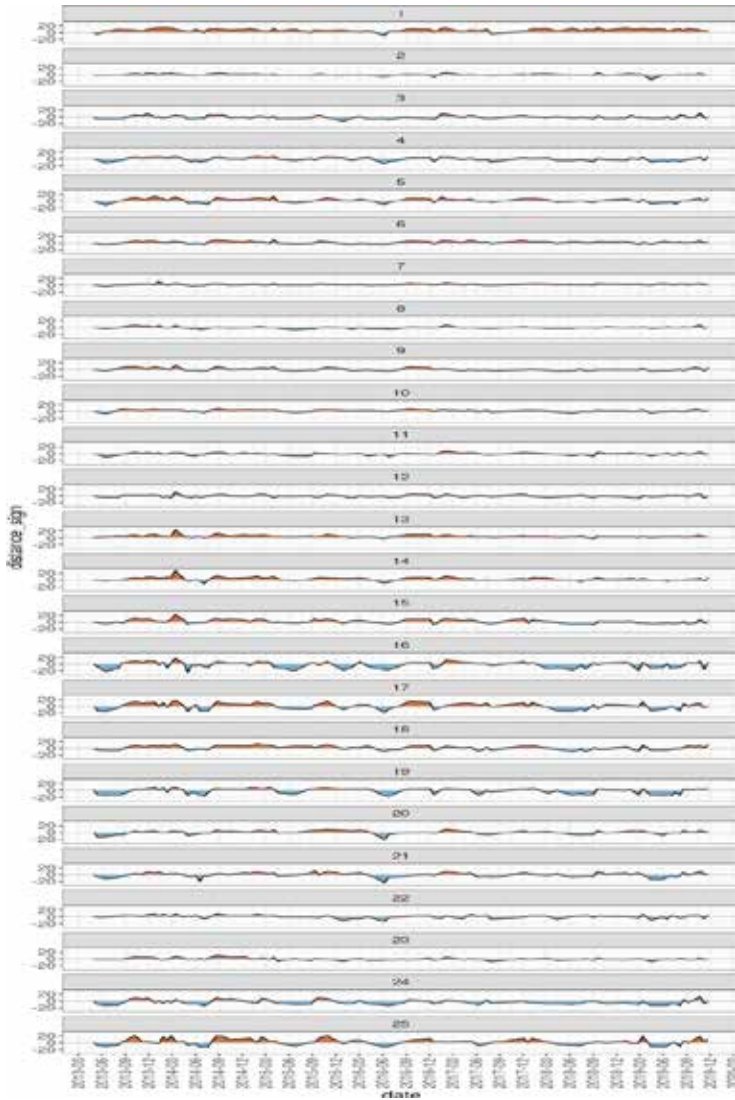
Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Líneas de costa desde 2013 a 2019 y transectos realizados



**Fuente:** Elaboración propia. La línea de color negro representa el trazado de referencia, el cual fue extraído de la imagen satelital del año 2013. Los transectos de color amarillo representan la superficie terrestre en tanto que los de azul el mar.

Figura 9. Transectos sobre las líneas costera de playa Carlos Pinto



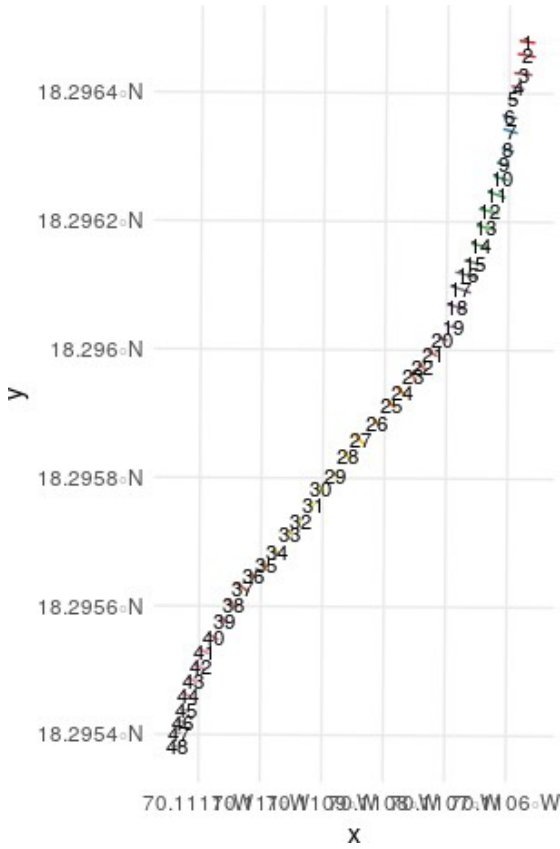
Fuente: Elaborado por José Ramón Martínez Batlle

Figura 10. Resultados cambios en la línea de costa

| Transectos   | Fecha     | Descripción/ cambio observado   |
|--------------|-----------|---|
| 1,13,14 y 15 | 2013-2019 | Las Líneas de costa cambiaron sustancialmente. Hubo progradación de poco más de 20 metros durante el periodo, exceptuando el mes de junio de 2016 en el cual mostró retrogradación. |
| 2,12,22 y 23 | 2013-2019 | No se presentaron variaciones sustanciales en el trazado de la línea de costa.  |
| 3,3 y 24     | 2013-2019 | Las líneas de costa cambiaron su trazado durante casi todos los años, el mar obtuvo una retrogradación menor a los 20 metros, en especial en junio del año 2016.                    |
| 5            | 2013-2019 | Se registraron tanto retrogradaciones como progradaciones en el periodo, en ambos casos menores de 20 metros.   |
| 6 y 9        | 2013-2019 | No hubo cambios   |
| 10 y 11      | 2013-2019 | Los límites de costa variaron ligeramente tanto de parte del mar como de la superficie terrestre menos de 20 metros.  |
| 16,17 y 19   | 2013-2019 | Predominó la retrogradación igual o menor a los 20 metros, excepto entre los meses de septiembre a junio (2013-2014), en los que influyó la progradación.                           |
| 18,20 y 21   | 2013-2019 | Progradación desde el 2014 hasta junio de 2016 y retrogradación en los demás casos, con una magnitud de cambio igual o menor a los 20 metros.                                       |
| 25           | 2013-2019 | Exhibe varios cambios entre las líneas de costa, el mar prosperó hacia tierra en el mes de junio de todos los años, en tanto que la tierra tuvo una acreción en el tiempo restante. |

Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Inclinación de los transectos



Fuente: Elaborado por José Ramón Martínez Batlle

Figura 12. Pendiente alta de la playa

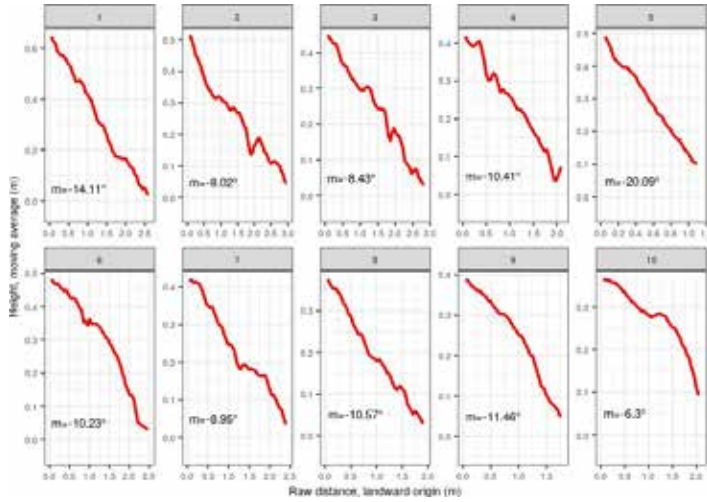
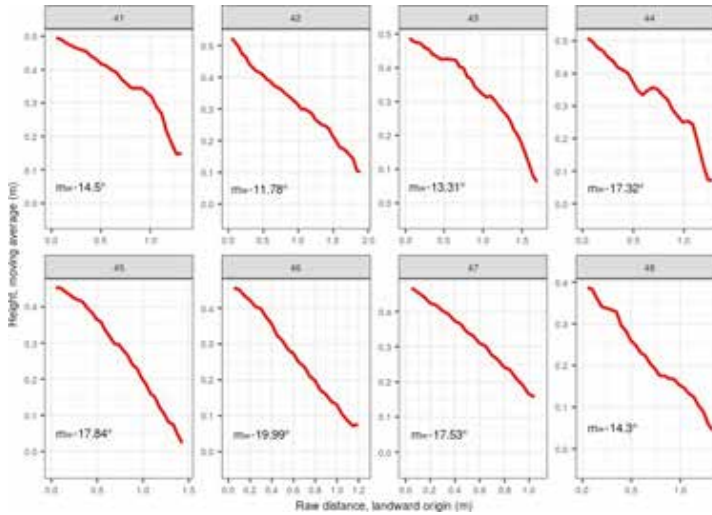


Figura 13. Pendiente baja de la playa



Fuente: Elaborado por José Ramón Martínez Batlle

Figura 14. Índice de concavidad

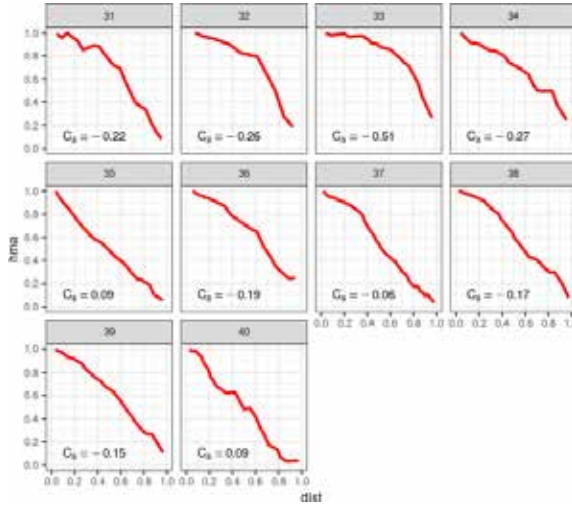
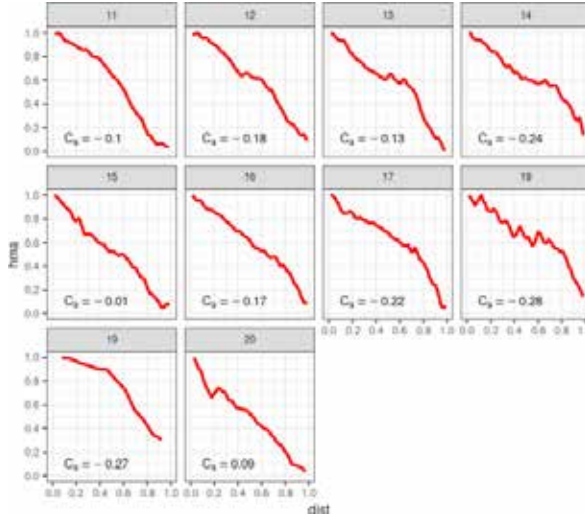


Figura 15. Índice de concavidad



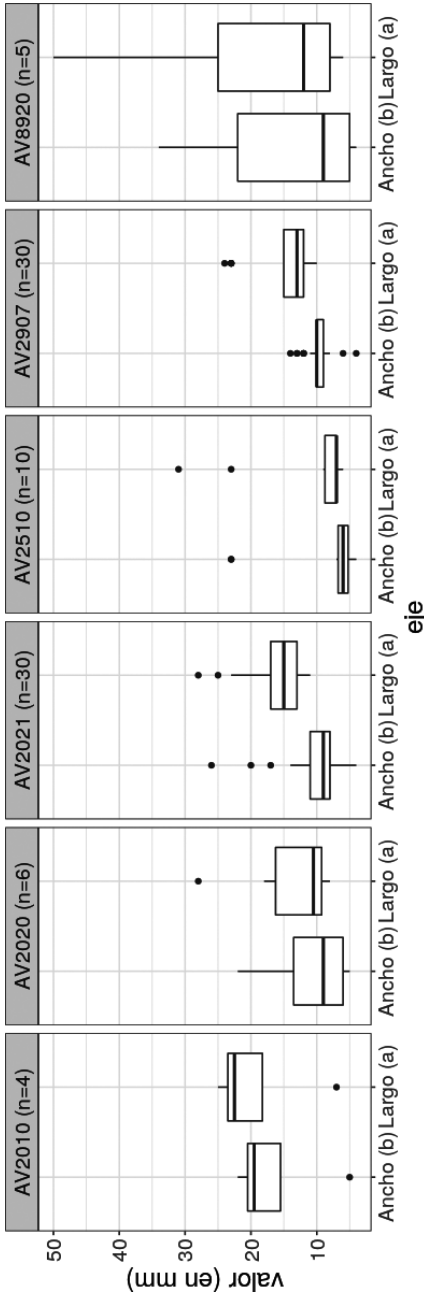
Fuente: Elaborado por José Ramón Martínez Batlle

Figura 16. Análisis estadísticos de las muestras

| Código de la muestra | Descripción observada   |
|----------------------|---|
| AV2010               | El 25% del sedimento midió poco más de 20 mm en largo y ancho, con algunos valores inferiores a 10 mm.  |
| AV8920               | El 75% de los clastos midió entre 10 y 25 mm en largo y ancho, con valor extremo de 50 y 34 mm.   |
| AV2510               | El 100% del material medido varió entre 4 y 7 mm de ancho, excluyendo dos clastos que midieron más de 20 mm. El 50% de los clastos midió entre 6 y 9 mm de largo. |
| AV2907               | El 75% de los clastos midió entre 10 y 15 mm en ambos ejes.   |
| AV2020               | El 25% del sedimento midió entre 8 y 10 mm de ancho, mientras que el 75% registró entre 9 y 18 mm de largo, con valores puntuales fuera de este rango.            |
| AV2021               | El 75% de los clastos midió entre 9 y 12 mm de ancho, y el 25% restante presentó entre 10 y 15 mm de largo.   |

Fuente: Elaboración propia

Figura 17. Diagrama de caja de la dimensión 'largo' (a) y 'ancho' (b) de clastos colectados en playa Najayo



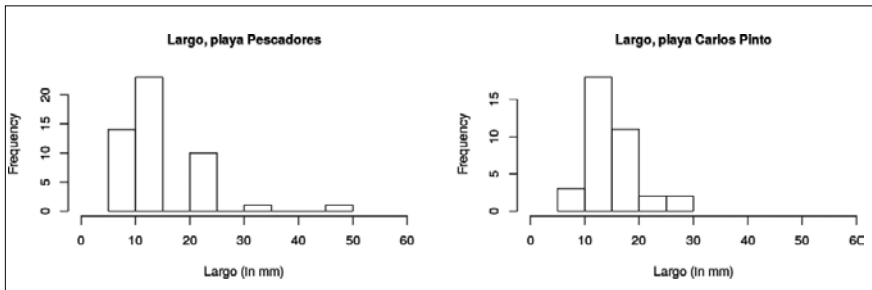
Fuente: Elaboración propia

**Figure 18.** Estadísticos descriptivos básicos de las dimensiones ‘largo’ (a) y ‘ancho’ (b) de clastos colectados en playa Najayo

| Lugar                       | Promedio |       | Valor mínimo | Valor mínimo | Valor máximo | Valor máximo |
|-----------------------------|----------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                             | (a)      | (b)   |              |              |              |              |
| <b>Playa Los Pescadores</b> | 13.00    | 10.00 | 6.00         | 4.00         | 50.00        | 34.00        |
| <b>Playa Carlos Pinto</b>   | 15.00    | 9.00  | 8.00         | 4.00         | 28.00        | 26.00        |

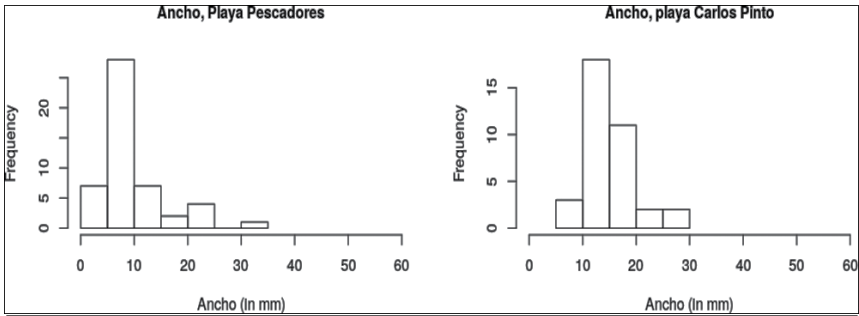
Fuente: Elaboración propia

**Figura 19.** Histograma de la dimensión ‘largo’ de clastos colectados en playa Najayo



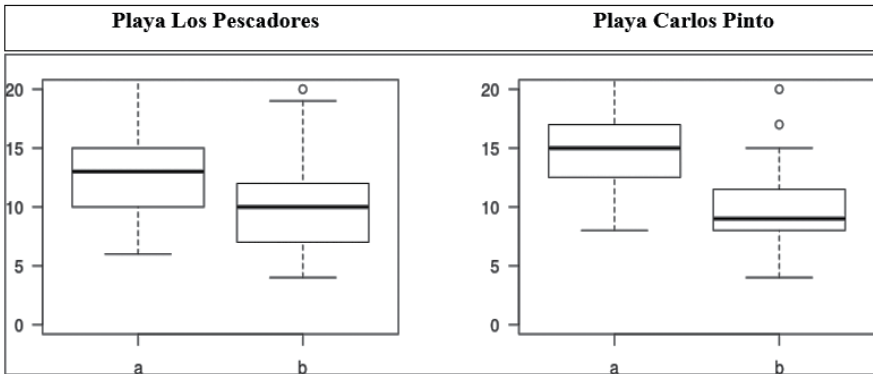
Fuente: Elaboración propia

Figura 20. Histograma de la dimensión ‘anchura’ del clasto



Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Diagrama de caja de la dimensión ‘largo’ (a) y ‘ancho’ (b) de clastos colectados en playa Najayo



Fuente: Elaboración propia

## Referencias

- Abad de los Santos, M. (2007–2010). Mapa Geológico de la República Dominicana a escala 1:50.000 de la hoja n 6170-I (Nizao) y Memoria correspondiente. Santo Domingo: Proyecto 1B de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN. Servicio Geológico Nacional.
- Abreu, L. (1999). Impacto del turismo en el litoral de República Dominicana. *Revista Geográfica*, 167–182.
- Aliotta, S., Spagnuolo, J. O., & Farinati, E. A. (2009). Origen de una roca de playa en la región costera de Bahía Blanca, Argentina. *Pesquisas Em Geociências*, 36(1), 107–116.
- Battle, J. R. M. (2020a). Geofis/beachprofile: BeachProfile (version v0.0.0.9000). <https://doi.org/10.5281/zenodo.3938999>
- Battle, J. R. M. (2020b). Geofis/rcoastsat: RCoastSat (version v0.0.0.9000). <https://doi.org/10.5281/zenodo.3937481>
- Cámara Artigas, R. (1997). República Dominicana: Dinámica del medio físico en la región Caribe (geografía física, sabanas y litoral) aportación al conocimiento de la tropicalidad insular. [Tesis]. España: Universidad de Sevilla.
- Caraballo, J. (30 de septiembre de 2016). Huracán Matthew se intensifica a categoría 2; autoridades mantienen nivel de alerta. *Diario Libre*. <https://www.diariolibre.com/actualidad/medioambiente/huracan-matthew-se-intensifica-a-categoria-2-autoridades-mantienen-nivel-de-alerta-FC5073575>

- Cervantes, et al. (2009). Variación de la dinámica erosiva y acumulativa en Cayo Moa Grande, Bahía de Moa, Cuba. Período 1972-2007. *Minería y Geología*, 25(4), 42-58.
- Codignotto, J. (1997). Geomorfología y dinámica costera. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), Mar del Plata, Argentina.
- Díaz de Neira, A. (2007-2010). Mapa de recursos minerales de la República Dominicana, escala 1:100,000. Santo Domingo: Proyecto 1B de Cartografía Geotemática de la República Dominicana. Programa SYSMIN. Servicio Geológico Nacional.
- Domínguez, L., Gracia, F., & Anfuso, G. (2004). Tasas de avance/retroceso de la línea de costa mediante morfometría fotogramétrica en el sector Sanlúcar de Barrameda-rota (provincia de Cádiz). *Revista Sociedad Geológica de España*, 17(1-2), 71-86.
- D’Croze, L. (1985). Manglares: Su importancia para la zona costera tropical. *Agonía de La Naturaleza*, 167-180.
- Esquer, M. Z., et al. (2018). Modificación de línea de costa. *Revista de Investigación Académica Sin Frontera: División de Ciencias Económicas y Sociales*, (16).
- Hernández Santana, et al. (2008). Morfodinámica de la línea de costa del estado de Tabasco, México: Tendencias desde la segunda mitad del siglo XX hasta el presente. *Investigaciones Geográficas*, (65), 7-21.
- Kokot, R. R. (2004). Erosión en la costa patagónica por cambio climático. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59(4), 715-726.
- Kokot, R. R., Codignotto, J. O., & Elissondo, M. (2004). Vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar en la costa

- de la provincia de Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59(3), 477-487.
- Lorenzo, F., Alonso, A., & Pagés, J. L. (2003). Evolución y erosión comparada de tres sistemas playa/flecha en las rías de Ortigueira, o Barqueiro y Viveiro (Galicia, España), *Cuaternario y Geomorfología*, 17(1-2), 75-89.
- Polanía, J., & Nat, R. (1998). Manejo de ecosistemas de manglar. Memorias del Curso Manejo de Ecosistemas de Manglar y Arrecifes de Coral. Bogotá, 153-168.
- QGIS y otros, Equipo de desarrollo de Código Abierto. (n.d.). QGIS sistema de información geográfica. Proyecto de Fundación Geoespacial de Código Abierto. URL: <http://Qgis.Osgeo.Org>
- R Core Team. (2020). R: Un lenguaje y un entorno para la computación estadística. <https://www.R-project.org>
- Singh, H. (2013). Recolección de datos móviles utilizando un dispositivo Android. *IJCST*, 4(1), 200-202.
- Suárez de Vivero, J. L. (1999). Delimitación y definición del espacio litoral. En Jornadas sobre el litoral de Almería: Caracterización, Ordenación y Gestión de un Espacio Geográfico, celebradas en Almería, 20 a 24 de mayo de 1997 (pp. 13-23).
- Vos, K., Splinter, K., Leaman, C., & Ianlturner. (2019). Kvos/CoastSat: CoastSat v1.0.1 (versión v1.0.1).

## **Semblanza autores**



## **Susana Hernández Peña**

Presidenta de la Comisión de Geografía de la Sección Nacional del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH). Es miembro de la Carrera Nacional de Investigador en Ciencia, Tecnología e Innovación del MESCYT, profesora adjunta de la Escuela de Geografía de la Universidad Autónoma de Santo Domingo e investigadora del Instituto Geográfico Universitario (IGU-UASD). Ha sido coordinadora de la Cátedra de Geografía Humana, presidenta de la Comisión de Cartografía de la Sección Nacional del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), exdirectora del Instituto Geográfico Universitario (IGU-UASD). Ha participado como coautora de libros de texto, publicado artículos en revistas del IPGH y ha presentado conferencias en congresos nacionales e internacionales.



## **Martin Rapilly**

Es docente-investigador de la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD) en la República Dominicana. Imparte las asignaturas de Teledetección Óptica y Radar, Geomática y Cartografía, así como Geografía Física, a estudiantes de grado y posgrado. Coordina, también, el Máster en Teledetección y Ciencias de la Información Geográfica creado con el apoyo de la Escuela Nacional de Ciencias Geográficas del Instituto Nacional de Información Geográfica

y Forestal de Francia. Por último, es estudiante de doctorado en la Universidad Toulouse III para realizar una tesis sobre la dinámica y caracterización de la calidad del agua del lago Hatillo (República Dominicana) mediante teledetección óptica satelital hiperspectral y multiespectral.



### **Edwin Vladimir Medina Castillo**

Graduado de la licenciatura de Geografía, mención Recursos Naturales y Ecoturismo por la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD) en el año 2018. Ha realizado diversos cursos y diplomados en áreas de ciencias geográficas como la cartografía, teledetección, biogeografía, geomorfología, gestión de riesgos, entre otras.

Ha participado en diversos congresos de investigación científica como expositor y en distintos proyectos de investigación financiados por el Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (MESCyT). Es miembro de la Comisión de Geografía de la Sección Dominicana del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH).

Se desempeñó como pasante en el área de Mapoteca del Archivo General de la Nación (AGN) en el periodo 2011-2012. Actualmente, es auxiliar de investigación en el Instituto Geográfico Universitario (IGU-UASD) y analista de investigación geográfica en la Dirección de Geografía del Instituto Geográfico Nacional José Joaquín Hungría Morell (IGN-JJHM).



## Andrés María Moreta Rosario

Egresado de Ingeniería Electromecánica y maestrías en Telecomunicaciones y en Geografía, Teledetección y Ciencias de la Información Geográfica por la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD). Egresado de la maestría en Investigación en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones por la Universidad de Valladolid. Ha realizado cursos de posítulo en Sismología y de Evaluación de Escenario para la Reducción de Riesgo de Desastres de Origen Natural en la Universidad de Chile, Geographic Information System and Remote Sensing for Disaster Risk Reduction en la Florida International University. Ha participado en los proyectos de investigación: Anisotropía y Procesos Tetánicos en la Parte Norcentral de la Placa del Caribe (2016); y Análisis Geográfico de Riesgo y Vulnerabilidad ante Tsunamis en la Costa de Pedernales de República Dominicana y del Departamento Sudeste de Haití (2015). Ha participado en la publicación del artículo científico: “Seismic S-wave coda attenuation in the Dominican Republic as a tool for seismic hazard mitigation”, 2020. Actualmente, pertenece a la carrera de Investigación de la República Dominicana; labora como supervisor de Procesamiento de Datos Sísmicos e investigador científico en el Centro Nacional de Sismología en la UASD.



## Diana Mabel Salciccia Frezza

Nacida en Argentina, licenciada en Geografía en la Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMP). Magíster Scientiae en Gestión de los Recursos Naturales Renovables y Medio Ambiente por el Centro Interamericano de Desarrollo Ambiental y Territorial (CIDIAT) de la Universidad de Los Andes, en Mérida, Venezuela.

Postgrado en Formación Ambiental, Facultad Latinoamericana de Ciencias Ambientales (FLACAM). Doctorado en Medio Ambiente y Sostenibilidad en las universidades Autónoma de Santo Domingo y Miguel Hernández de Elche. Auditor Acreditado del PROGRAMA GREEN GLOBE CERTIFICATION. Prestador Individual de Servicios del Ministerio de Medio Ambiente de la República Dominicana. Docente de grado y maestría de la Escuela de Geografía, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD). Docente en la Maestría Ciencias Ambientales del Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC). Docente adjunta de la Cátedra de Formulación y Evaluación de Proyectos Turísticos carrera de Licenciatura en Turismo, Universidad Atlántida, Argentina. Consultora del Banco Mundial para el Programa Regional de Infraestructura de Comunicaciones para el Caribe (CARCIP).



## Franklin Jesús Tejeda

Es responsable de la Oficina Antena de la UNESCO en la República Dominicana, la cual opera bajo la coordinación de la Oficina de Representación para Cuba, República Dominicana y Venezuela, UNESCO La Habana.

Es licenciado en Educación, mención Ciencias Sociales, por la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD). Cursó la maestría Geografía para Educadores (2020). Hasta junio de 2017 se desempeñó como coordinador nacional del Programa de Escuelas Asociadas a la UNESCO (RedPEA). Es miembro de la Red de Especialistas en Política Educativa de América Latina y el Caribe del Instituto Internacional de Planeamiento de la Educación (IPE-UNESCO). Su formación continua se ha concentrado en la educación para el desarrollo sostenible, el uso de la información para la planificación educativa, políticas públicas de juventud, recursos educativos abiertos, gestión de la cooperación internacional para el desarrollo sostenible, cultura de paz, cambio climático, Metodología MAST: análisis y monitoreo de playas, la escuela y la gestión de riesgo, entre otros; cursados en instituciones como Unesco, Flacso Dominicana, MinerD, Inafocam, Unesco-Sandwatch Foundation, Instituto Tecnológico de Monterrey y el IPE.



## Estrella del Mar Tena Gracia

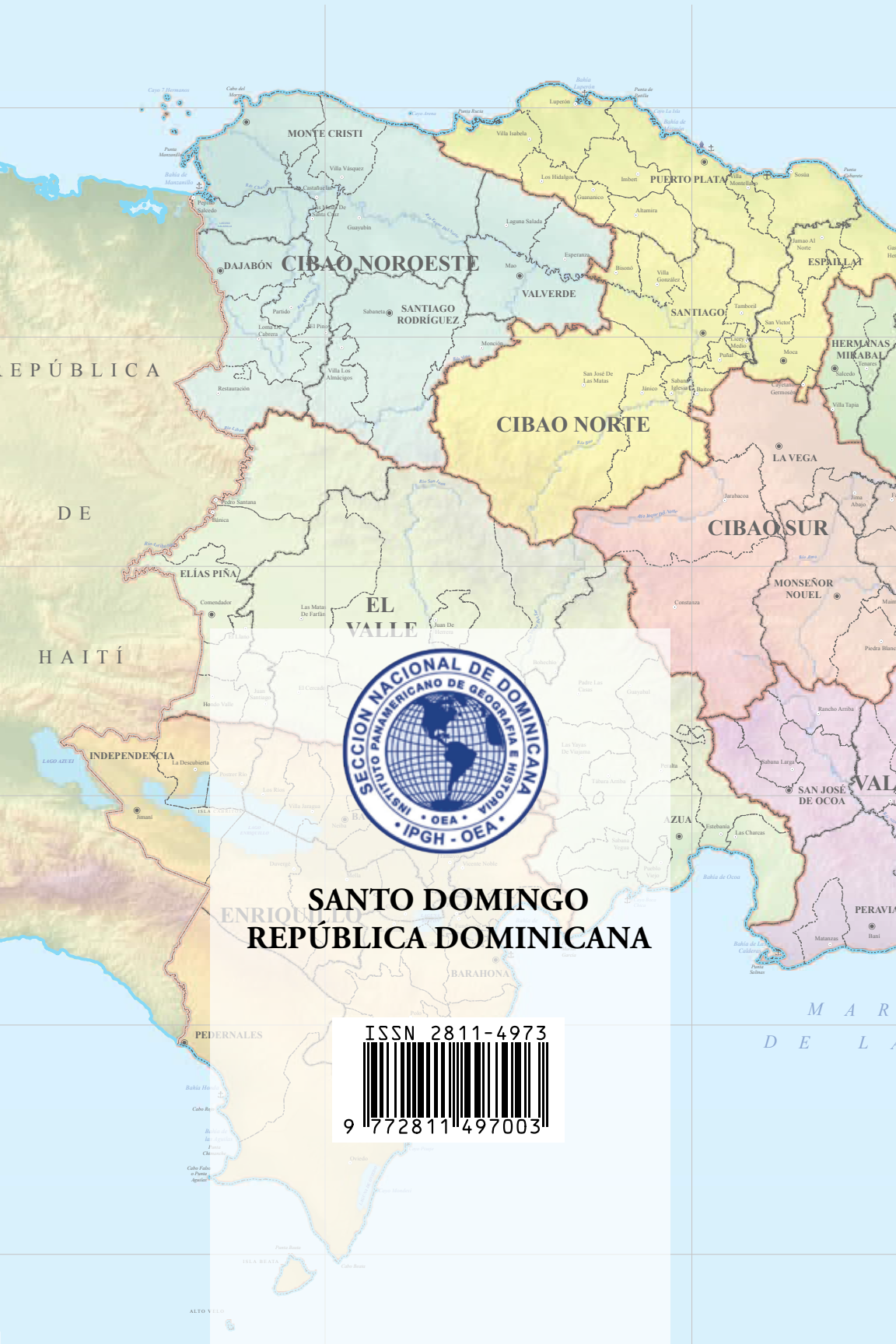
Investigadora y profesora de la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD). Licenciada en Ciencias Ambientales por la Universidad de Alcalá. Máster en Medio Ambiente: dimensiones humanas y socioeconómicas por la Universidad Complutense de Madrid (UCM) y posee dos especialidades, una en Educación Ambiental y Desarrollo Sostenible por la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) y otra en Diseño Curricular por la Universidad de Barcelona (UB). Desde 2017 ejerce la docencia en las escuelas de Biología y Geografía de la UASD y se desempeña como investigadora en el Instituto Geográfico Universitario. Además, es miembro de la Red de Educación Geográfica del IPGH.



## **Ana Hilda Valera Arias**

Licenciada en Administración de Empresas y en Geografía, mención Recursos Naturales y Ecoturismo, por la Universidad Autónoma de Santo Domingo. Participa activamente en la Red de Jóvenes y Batallón Comunitario de su comunidad realizando actividades de prevención y desarrollo social, a fin de ayudar a las personas en situaciones vulnerables. En el ámbito laboral se ha desempeñado como animadora del Plan Nacional de Alfabetización “Quisqueya Aprende Contigo”, secretaria en Dash Lights Eventos y actualizador cartográfico en la Oficina Nacional de Estadísticas (ONE). En la actualidad, ejerce como técnico de la Dirección de Geografía del Instituto Geográfico Nacional “José Joaquín Hungría Morell”.

Esta edición de la revista **Ciencias Geográficas** de la Sección Nacional de Dominicana, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, se terminó de imprimir en el mes de diciembre de 2024, con una tirada de 150 ejemplares, en los talleres gráficos de Editora Búho, S.R.L., Santo Domingo, República Dominicana.



REPÚBLICA

DE

HAITÍ

**SANTO DOMINGO  
REPÚBLICA DOMINICANA**



ISSN 2811-4973

9 772811 497003

MAR  
DE LA

ALTO VELO