

GENERACIÓN Y GESTIÓN DE DATOS HIDRO- METEOROLÓGICOS Y ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO REPÚBLICA DOMINICANA

Producto 2

Diagnóstico de situación actual

Realizado por:



Financiado por:



Fecha: 24 de abril de 2023



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	4
MAPEO DE ACTORES.....	6
LÍNEA DE BASE: Datos hidrometeorológicos	12
Introducción.....	12
Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET).....	14
Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI).....	17
Central Romana.....	22
Consorcio Azucarero de Empresas Industriales (CAEI).....	22
Empresa de Generación Eléctrica Haina (EGEHAINA).....	24
Fundación REDDOM.....	24
Guakía Ambiente.....	26
Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales.....	27
Instituto Dominicano del Café (INDOCAFE).....	27
Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC).....	27
Junta Agroempresarial Dominicana (JAD).....	29
Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra (PUCMM).....	30
Servicio Geológico Nacional (SGN).....	31
Universidad ISA.....	32
Plan para el Desarrollo de la Cuenca del Río Yaque del Norte (Plan Yaque)	33
LÍNEA DE BASE: Escenarios de cambio climático.....	35
ANÁLISIS DE DÉFICIT de la red de medición existente.....	39
Estadística zonal multipropósito sobre información geoespacial de República Dominicana.....	39
Marco de referencia.....	42
Metodología.....	44
Resultados para la red de Estaciones Meteorológicas (EMC).....	46
Resultados para la red de Estaciones Hidrométricas (EH).....	56
BIBLIOGRAFÍA.....	63
ANEXO 1: Cuestionario para encuesta.....	70
ANEXO 2: : Lista de estaciones por entidad.....	71
ANEXO 3: Detalles metodológicos de la estadística zonal.....	72
ANEXO 4: Detalles metodológicos del análisis de la red de medición.....	73



INTRODUCCIÓN

El proyecto “Generación y gestión de datos hidro-meteorológicos y escenarios de cambio climático República Dominicana” surge con el propósito de mejorar la calidad de los Servicios Climáticos (SC) en la República Dominicana, como instrumento clave para la definición de políticas de adaptación al cambio climático.

Sus objetivos específicos son:

1. Profundizar el diagnóstico de la situación actual de los SC en la República Dominicana, incluyendo la descripción detallada de la generación, disponibilidad, accesibilidad, calidad, manejo, uso, gestión y gobernanza, así como la transformación y manipulación de datos originales e informaciones derivadas, entre las cuales las derivantes de escenarios de cambio climáticos para el país.

Este objetivo incluye proponer acciones para la mejora de los SC para diferentes sectores de desarrollo del país, tomando como base el diagnóstico actual y los hallazgos que se obtengan de esta propuesta. Además, incluye la evaluación de la densidad óptima de la red de medición meteorológica del país, identificando su déficit actual.
2. Elaborar un plan de acción que responda a las necesidades de mejora identificadas, partiendo de la socialización de los resultados de los diagnósticos con las instituciones públicas del país más directamente vinculadas con los SC, favoreciendo el establecimiento de un diálogo interinstitucional que sienta las bases para el fortalecimiento de la disponibilidad y el acceso de datos meteorológicos e hidrológicos. El plan incluirá también acciones específicas para la densificación de la red de medición, en base a los resultados de la evaluación realizada en la etapa anterior.
3. Establecer los criterios y supuestos para la elaboración de una base de datos meteorológicos e hidrológicos usando software de código abierto, una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API, por sus siglas en inglés), y una o varias interfaces de usuario, como portales web y/o aplicaciones móviles, que faciliten el almacenamiento, la interacción, selección y descarga de datos meteorológicos en el país.

Por lo tanto, el proyecto está estructurado en tres componentes principales:

1. Diagnóstico de la situación actual de los SC en la República Dominicana;
2. Elaboración de un plan de acción para la mejora de los SC en el país;
3. Establecimiento de los criterios y supuestos para la elaboración de una Interfaz de Programación de Aplicaciones y aplicaciones para usuarios.

El presente informe contiene los resultados del **diagnóstico de la situación actual de los SC en la República Dominicana** (Producto 2), el cual está compuesto por los siguientes componentes:

- **Mapeo actualizados de actores relevantes para los SC**, incluyendo para cada uno de ellos: capacidades, recursos e infraestructura para mantener y garantizar la sostenibilidad de la recolección, almacenamiento, transformación, mantenimiento y distribución de los datos.
- **Línea de base de los datos meteorológicos e hidrométricos** históricos existentes en el país, especificando las características y calidad de las bases de datos usadas para su almacenamiento y gestión, así como una evaluación de la co-producción de SC.

Dicho componente incluye el censo de los puntos de medición existente en el territorio nacional, identificados en base a su ubicación georreferenciada y descritos en función de su tipología, las variables medidas y los instrumentos instalados para medirlas, entre otros parámetros.

Parte de este componente es la descripción de la estructura de las bases de datos de las principales entidades productoras, con especial enfoque en la Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET) y el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI), incluyendo la definición de los estándares de calidad aplicados.

- **Línea de base actualizada de los escenarios de cambio climático** elaborados en el país, alineados con el reporte AR6 del IPCC, 2021.

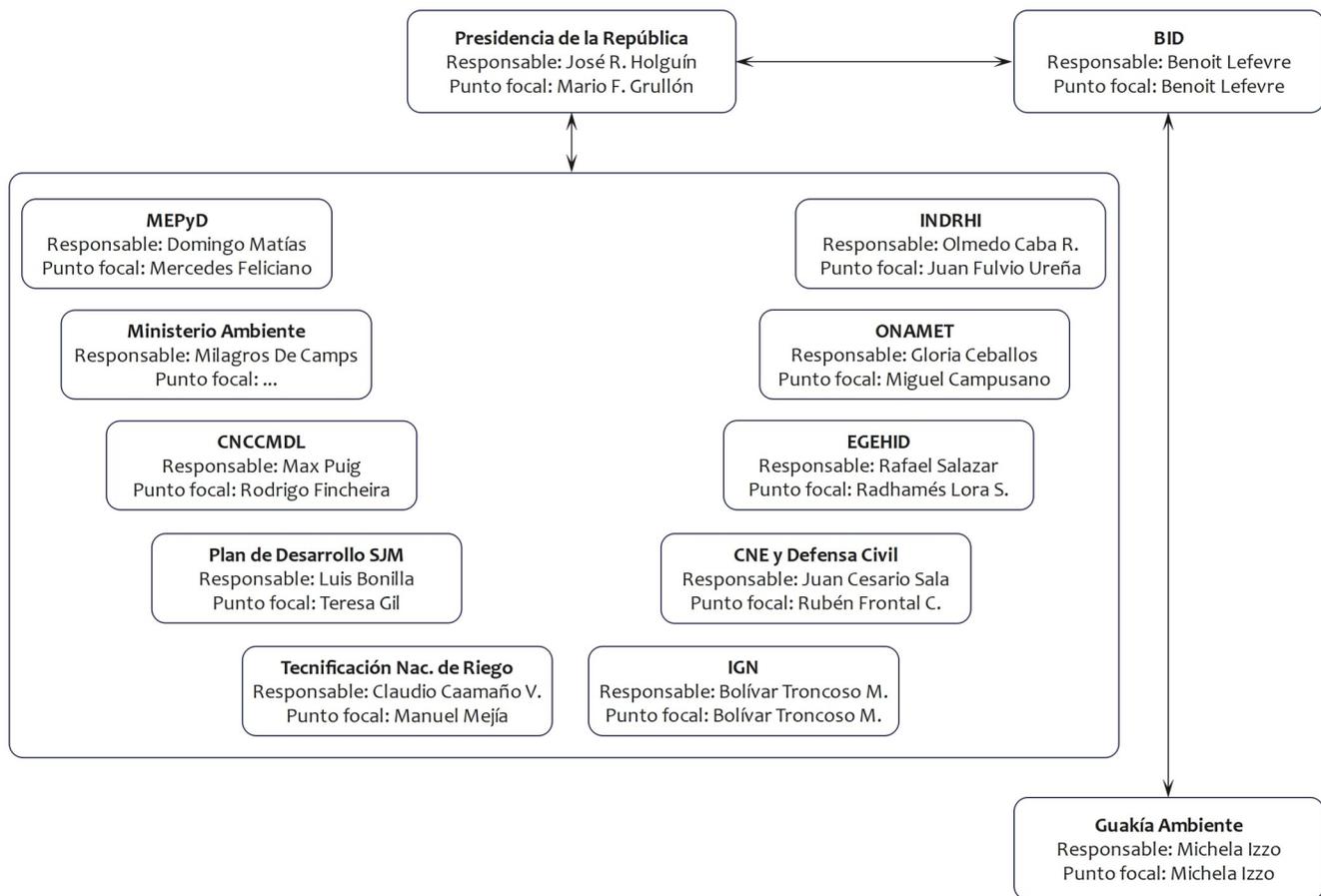
Es importante destacar que, coherentemente con los objetivos planteados en los Términos de Referencia del proyecto, los estudios llevados a cabo se limitan al análisis de la sola red terrestre de puntos de medición meteorológica e hidrométrica. Por lo tanto, las conclusiones correspondientes, contenidas en el Plan de Acción y el Plan de Inversión, toman en cuenta exclusivamente los pasos para la mejora de esta red, sin implicaciones para la mejora de otros sistemas y/o herramientas de monitoreo hidrometeorológico, como radares meteorológicos, imágenes satelitales, entre otros. Aunque reconociendo la necesidad de que el país invierta en estas herramientas, fundamentales para la mejora del conocimiento meteorológico e hidrológico, para la definición de un plan de acción, que incluya detalle de inversión es necesario un estudio detallado, que sale de los objetivos de este proyecto.



MAPEO DE ACTORES

La acción sinérgica entre todos los actores que participan en la cadena de suministro de los SC es fundamental para la efectividad de estos, más aún en la República Dominicana, país en el cual el acceso ágil a los datos y el intercambio de informaciones hidrometeorológica constituyen un desafío, al cual el proyecto “Generación y gestión de datos hidro-meteorológicos y escenarios de cambio climático República Dominicana” quiere proveer una solución sostenible.

Para tales fines, el proyecto cuenta con el mecanismo de gobernanza descrito a continuación:



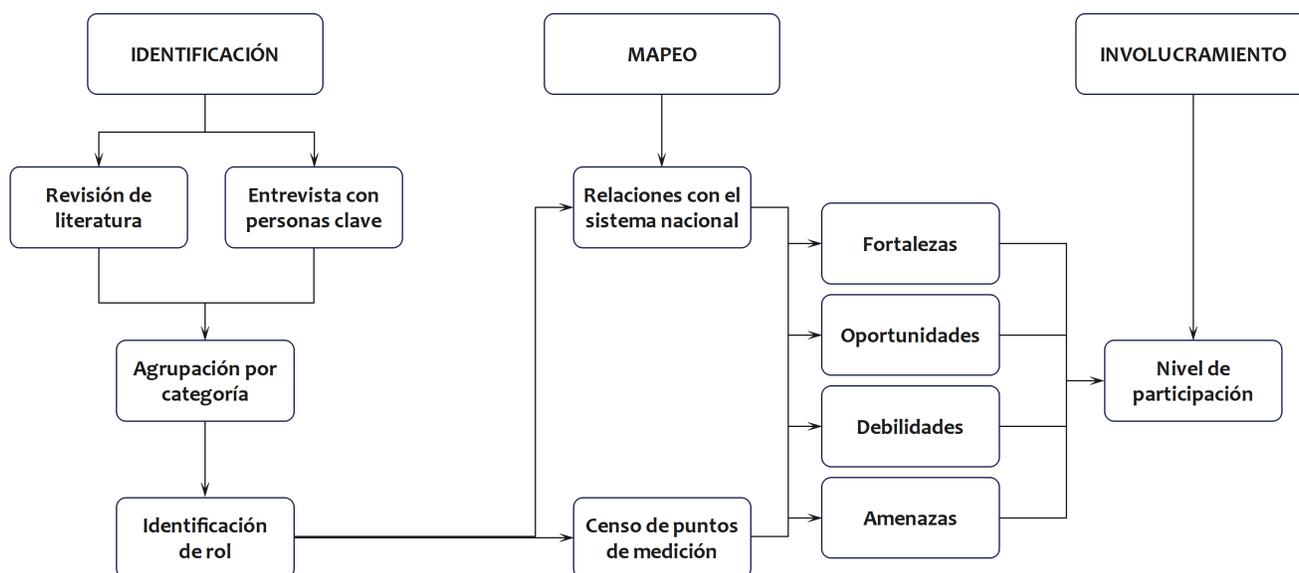
La institución de un Comité de Puntos Focales responde al propósito de abrir un espacio donde las principales instituciones estatales en tema hidrometeorológico trabajen juntas para identificar y debatir las opciones más factible para la gobernanza de la plataforma y base de datos nacional, llegando a la decisión final de manera consensuada, así que se sienten las bases para la sostenibilidad del sistema que se dejará establecido y funcionando. Dicho comité se abrirá también a la participación de otras entidades productoras de datos, con especial enfoque en las que pertenecen al sector privado, con el objetivo de establecer mecanismos de colaboración, basado en alianzas público-privada.

A partir del mapeo realizado en un estudio reciente (AFD, 2021), se amplió el análisis a entidades productoras de datos de otros sectores, a parte del agrícola, para, en primer lugar, recopilar, de la

manera más completa posible, las fuentes de datos disponibles y, en segundo lugar, identificar las necesidades de información a diferentes niveles y escalas.

Para la ampliación del mapeo de actores se siguió el siguiente esquema (Barquet et al., 2022 modificado):

Los actores identificados fueron clasificados en base a su sector de pertenencia: sector público, sector privado, sector sin fines de lucro, academia.



Sucesivamente fue evaluada su función respecto a los SC en el país, diferenciándolos entre “productores”, “intermediarios” y “usuarios” de datos hidrometeorológicos.

En el taller de arranque del proyecto, llevado a cabo con todos los principales actores en tema de Servicios Meteorológicos e Hidrológicos, se realizó un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas), mediante el cual se evaluaron los siguientes aspectos:

- Puntos críticos y fortalezas del sistema actual de producción, manejo y acceso a datos hidrometeorológicos;
- Beneficios que cada entidad obtendría de un sistema alternativo, fundamentado en el manejo apropiado de los datos hidrometeorológicos y el acceso ágil a ellos.

Sucesivamente, respondiendo al propósito del proyecto, los pasos siguientes del análisis se concentraron en los productores de datos, con el objetivo de identificar potencialidades que puedan ser aprovechadas para la constitución de una plataforma y base de datos nacional de libre acceso.

Con cada una de las entidades productoras de datos se concertaron encuentros y a cada una de ellas fue sometida una encuesta (Anexo 1).

A continuación, se presenta la síntesis de los resultados del levantamiento realizado.

Los resultados del análisis FODA permitieron crear una visión consensuada sobre los siguientes puntos:

- a. Actualmente el país cuenta con diferentes redes de medición de variables meteorológicas e hidrológicas, las cuales no responden a estándares uniformes de levantamiento de datos. Esta red es un punto de partida importante para enfrentar la carencia de puntos de medición, una vez que se establezcan criterios y estándares apropiados que hagan comparables los datos levantados.
- b. Las entidades reconocen la necesidad de fortalecer las capacidades técnicas de su capital humano encargado del seguimiento y mantenimiento de las estaciones meteorológicas e hidrológicas, incluyendo aquellas con nivel tecnológico básico.
- c. **Aunque se reconoció la insuficiencia de la red de monitoreo meteorológico e hidrológico existente, todas las entidades presentes en el taller expresaron su preocupación respecto a la sostenibilidad de las estaciones**, destacando que nuevos puntos de medición implicarían una presión significativa sobre instituciones productoras de datos cuyo presupuesto es ya al presente limitado.

El problema de la sostenibilidad de la red afecta especialmente a las instituciones que tienen la responsabilidad de generar datos y, en última instancia, a las personas que reciben servicios climáticos. En concreto, durante el taller, algunas de las entidades presentes identificaron varias debilidades que afectan a la generación de datos, entre las cuales:

- La red de estaciones no está operando de forma óptima. Una amenaza actualmente existente en este sentido, es la incidencia de eventos climáticos extremos, que inciden en todos los aspectos de la red, así como el vandalismo y el hurto de componentes. Estos últimos generan daños significativos y, frecuentemente, producen la salida de funcionamiento por períodos relativamente largos, causando la interrupción de la serie de datos correspondiente.
- Las instituciones enfrentan dificultades en el mantenimiento del número suficiente de personas capacitadas y debidamente remuneradas que realicen las observaciones.
- Un aspecto relevante son las carencias presupuestarias para el reemplazo y/o reparación de las estaciones, así como el pago del personal, las cuales dificultan el mantenimiento de las estaciones, en el corto así como en el largo plazo.
- Asimismo, se destacó que el uso de terrenos de particulares para la instalación de las estaciones puede constituir una amenaza para la continuidad de las mediciones, especialmente en presencia de carencias presupuestarias.
- Las carencias de presupuesto producen debilidades también en la supervisión de las observaciones realizadas a las estaciones, así como a los datos colectados en estas, lo cual comúnmente podría afectar la calidad del dato mismo.

Por lo tanto, todas las personas participantes valoraron particularmente que el proyecto prevea la elaboración de un plan de acción que incluirá también el componente de inversión y el relativo mecanismo de sostenibilidad. Se prestará particular atención a la estructuración de un equipo encargado del seguimiento y mantenimiento de las estaciones capacitado y oportunamente remunerado.

- d. Como parte del análisis, se identificaron también oportunidades para superar las debilidades apenas

destacadas. Entre ellas, se resaltó la disponibilidad de nueva tecnología, mayor oferta y capacidad de acceso a fondos internacionales, nuevos acuerdos con la OMM, nuevas capacidades de planificación en las instituciones que podrían contribuir a la sostenibilidad de la red, así como potencial aplicación de medidas de seguridad para las estaciones, en coordinación con otras entidades, como el Ministerio de Defensa.

- e. Por lo general, el mecanismo de acceso a los datos levantados es poco ágil tanto a lo interno de las entidades productoras como para usuarios externos. En efecto, las normas establecidas para la entrega de los datos generan tiempos largos de respuesta a las personas y/o entidades que los soliciten.
- f. Los productos generados son poco adaptados a las necesidades específicas de los usuarios y, frecuentemente, quedan vinculados a un uso interno de las entidades que los elaboran.

La centralidad de los datos es destacada en todos los componentes del análisis FODA. En efecto, las personas participantes perciben como una fortaleza todo lo relacionado con el dato en sí mismo, valorando positivamente la calidad del dato producido y el respeto de estándares internacionales.

Por otro lado, las debilidades asociadas a los datos se identifican en el uso y consulta, especialmente cuando se requiera acceder a grandes cantidades de información. Respecto a las oportunidades, prevalece el tema de fuentes alternativas de recursos y medios para la sostenibilidad del sistema de levantamiento y gestión de variables hidrológicas y meteorológicas. Finalmente, entre las amenazas se cita la relevancia de cuestiones estructurales y organizativas, así como institucionales, que, dependiendo del contexto, pueden constituir una barrera para la gestión, el acceso y la sostenibilidad del sistema.

El cuadro de síntesis, así como el gráfico de valoración de debilidades y fortalezas, y las nubes de palabras presentadas a continuación resumen los resultados del análisis FODA, visibilizando lo destacado arriba.

Una de las principales conclusiones es que, aunque actualmente se garantice el cumplimiento de los estándares mínimos requeridos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), **las entidades participantes afirmaron la necesidad de fortalecer el sistema de adquisición y manejo de datos, con enfoque en su sostenibilidad**, incluyendo el tema de la seguridad de las estaciones de la red de medición. Por lo tanto, el Plan de Acción que se desarrollará para la redensificación de la red de monitoreo deberá incluir en el presupuesto de implementación los rubros asociados a la seguridad de los equipos, tales como: cerramientos, cercas, muros, mallas, etc.



<p>FORTALEZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Existencia de diferentes redes de medición de variables meteorológicas e hidrológicas. - Reconocimiento de parte de las entidades de la necesidad de fortalecer sus capacidades. - Centralidad de los datos reconocida por todos los actores. 	<p>OPORTUNIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Existencia de fuentes alternativas de recursos y medios para la sostenibilidad de las redes de medición y gestión de datos, con especial enfoque en las alianzas público-privadas. - Apertura a la colaboración interinstitucional y al trabajo en conjunto.
<p>DEBILIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Estándares de levantamiento de datos no uniformes. - Insuficiencia de la red de medición oficial existente. - Carencias de personal técnico y presupuesto para el mantenimiento de las estaciones, especialmente en las entidades públicas. - Acceso a datos poco ágil, tanto a lo interno de las entidades productoras como para usuarios externos. - Productos generados poco adaptados a las necesidades específicas de los usuarios y prevalentemente dirigidos a usos institucionales internos. 	<p>AMENAZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Problemas de seguridad: actos vandálicos y robos de los equipos de medición. - Condiciones estructurales, organizativas y/o institucionales que constituyen una barrera al acceso ágil a los datos y a su sostenibilidad.

LÍNEA DE BASE: Datos hidrometeorológicos

Introducción

A partir de la actualización del mapeo de actores, la definición de la línea base del monitoreo meteorológico e hidrométrico en el país fue realizada a través de dos etapas principales:

1. Obtención de informaciones preliminares a través de la entrevista sometida a cada entidad (Anexo 1);
2. Solicitud directa a cada entidad de la lista de los puntos de medición e informaciones correspondientes, incluyendo: coordenadas, tipo de estación, variables medidas, año de entrada en funcionamiento, estado actual, entre otras.

En la etapa 2 fue necesario un esfuerzo significativo para la obtención de los datos y su consolidación, puesto que, especialmente en el caso de las instituciones públicas, falta un censo actualizado de las estaciones o, en el caso en que esté disponible, las informaciones resultan almacenadas en diferentes fuentes, sin la existencia de un código (clave) común. Otra barrera al acceso a las informaciones, común también a algunas de las entidades privadas, es el hecho que frecuentemente las responsabilidades del manejo de la red de medición están repartidas entre sujetos diferentes, sin un esquema claro de roles y protocolos. Por lo tanto, en muchas ocasiones la obtención de las informaciones estuvo sujeta a un proceso de solicitudes reiteradas y reuniones con personas diferentes, hasta la consolidación de un resultado de calidad apropiada.

En los capítulos siguientes se presenta el detalle de cada una de las entidades productoras de datos que aceptaron compartir la información, parcialmente o por completo. De manera particular, la tabla siguiente resume la respuesta de cada una de los actores contactados y una breve síntesis de las informaciones recolectadas en tema de estación de monitoreo y bases de datos. Sucesivamente, para cada una de las entidades, se describe detalladamente el estado actual del monitoreo hidrometeorológico y el manejo de los datos levantados.



Entidad	Solicitud de entrevista enviada	¿Respondió a la solicitud de entrevista?	Consultada	¿Remitió lista de estaciones?	Número de estaciones que manejan, informado en entrevista	Número de estaciones que manejan, según lista	Número de estaciones con coordenadas	Observaciones sobre número de estaciones	Notas sobre Base de Datos
Central Romana (CR)	✓	X	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Consorcio Azucarero de Empresas Industriales (CAEI)	✓	✓	✓	✓	95	95	NA	94 pluviómetros y 1 estación Lynks	Se desconoce el tipo de base de datos y la empresa no cuenta con convenios con la ONAMET.
EGEHaina	✓	✓	✓	✓	13	13	NA	Entregaron lista de estaciones sin coordenadas	Se desconoce el tipo de base de datos y la empresa no cuenta con convenios con la ONAMET.
Empresa de Generación Hidroeléctrica Dominicana (EGEHID)	✓	✓	✓	NA	11	NA	NA	En fase de revisión del estudio, la entidad destacó que cuenta con 11 estaciones, actualmente fuera de funcionamiento, para cuya rehabilitación está previsto el desarrollo de un proyecto.	NA
Fundación REDDOM	✓	✓	✓	✓	34	34	32	NA	Base de datos relacional MySQL.
Guakia Ambiente	✓	✓	✓	✓	1	1	1	NA	Los datos están organizados por archivos. Cuenta con convenio con la ONAMET.
Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF)	✓	✓	✓	NA	20	NA	NA	Ninguna de las mencionadas estaciones se encuentra en operación actualmente	NA
Instituto Dominicano del Café (INDOCAFE)	✓	✓	✓	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI)	✓	✓	✓	✓	839	839	199	Numerosas "estaciones" son apenas puntos de observación casual de hidrometría	Los datos están organizados por archivos.
Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC)	✓	✓	✓	✓	5	5	5	NA	Base de datos en WeatherLink.
Junta Agroempresarial Dominicana (JAD)	✓	✓	✓	✓	13	13	NA	NA	Base de datos en WeatherLink.
Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET)	✓	✓	✓	✓	108	87	87	Según la entrevista, las estaciones son 108, sin incluir las voluntarias. Según la lista enviada el número bajó a 87.	Base de datos relacional MySQL, en el sistema MCH.
Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra (PUCMM)	✓	✓	✓	✓	2	2	2	NA	Los datos están organizados por archivos.
Servicio Geológico Nacional (SGN)	✓	✓	✓	✓	2	2	2	NA	Cuentan con una base de datos interna asociada al software con la cual manejan los sensores hidrométricos.
Universidad ISA	✓	✓	✓	✓	3	3	3	Las 3 estaciones están ubicadas en el mismo sitio	Los datos están organizados por archivos y una estación es parte de la red de la Fundación REDDOM.

Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET)

La Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET) es la institución técnico-científica y reguladora del estado dominicano que desde el 1954 es encargada de proveer servicios meteorológicos y cumplir con las responsabilidades que derivan de su acreditación ante la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Según el marco jurídico actual, la ONAMET no cuenta con autonomía presupuestaria. Por lo tanto, la entidad obtiene sus recursos financieros a través de una asignación del gobierno central, canalizada a través del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), institución de la cual es una dependencia desde mediados del 2017, tal como lo establece el Decreto 176-17.

La ONAMET aplica protocolos que responden a estándares internacionales para la instalación y manejo de las estaciones meteorológicas y ofrece a tercero el servicio de evaluación y calibración de estaciones meteorológicas, garantizando la calidad del dato producido.

Para la línea base de la red de monitoreo, la ONAMET aportó dos archivos, conteniendo cada uno listas de estaciones e informaciones asociadas. Se asumió que las estaciones contenidas en los dos archivos eran las mismas. El primero (COORDENADAS 2022 DIVISION INSTRUMENTOS.xlsx) contiene una relación de estaciones con indicación de coordenadas, mientras que el segundo (LISTADO PERIODO DE MEDICION DE CADA ESTACION(22)-1.xlsx) indica los períodos de medición de cada variable en cada estación.

Debido a la ausencia de un código (clave) común, se tuvo que llevar a cabo un análisis previo que permitiera agregar de manera apropiada la información y establecer el estado de funcionamiento, “activo” o “inactivo”, produciendo, finalmente, un mapa de los puntos de medición. A continuación, se describe el procedimiento realizado.

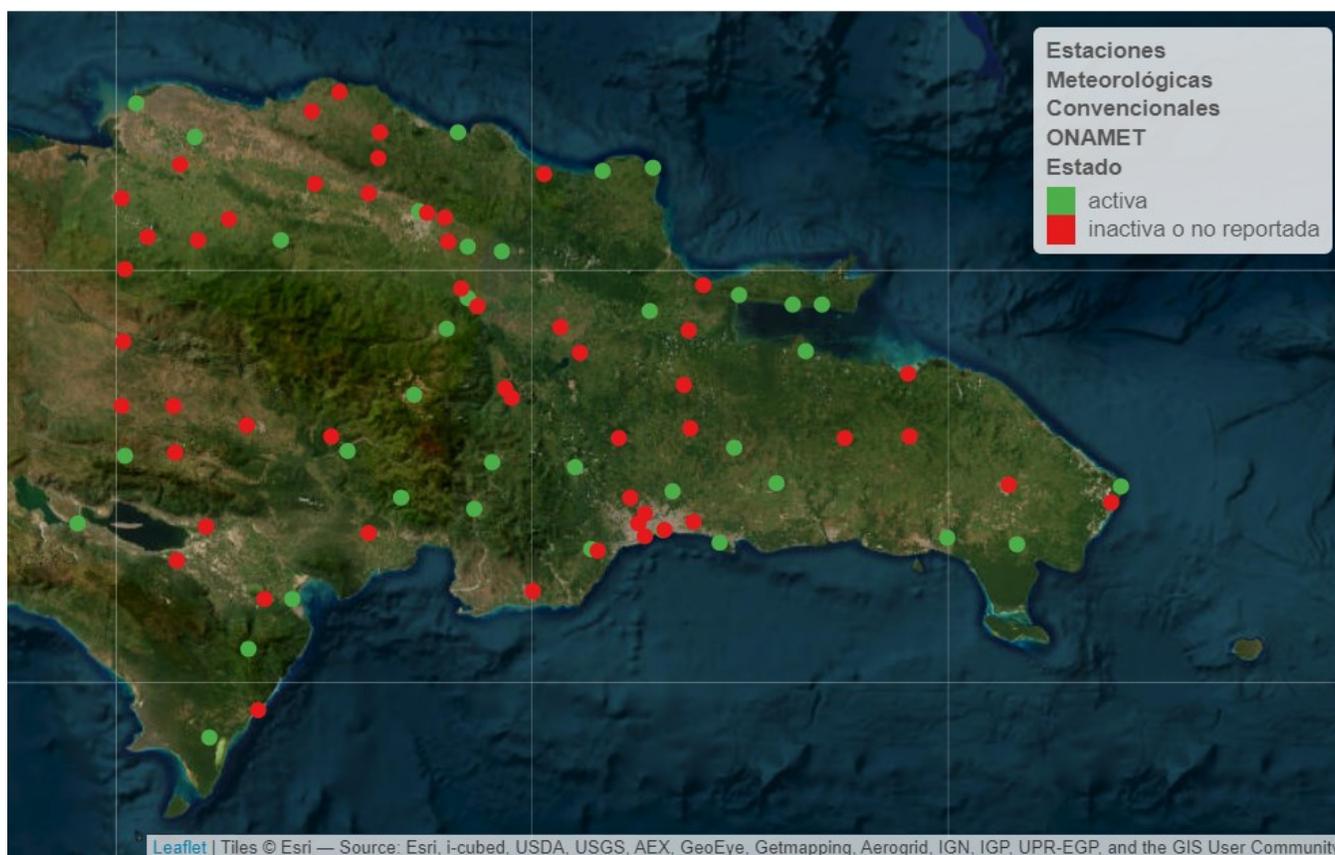
Para llegar al producto final, el mapa de las estaciones con indicado su estado de funcionamiento, fueron necesarias las coordenadas contenidas en el primer archivo y el periodo de medición contenido en el segundo.

Para decidir cuáles estaciones se consideran activas, se buscó, mediante expresión regular, la cadena de caracteres “2021” en las columnas que contienen fechas (e.g. columnas PR, TX, etc.) de las listas de estaciones con indicación de períodos de medición. Cada coincidencia señalaba una estación que colecta datos hasta 2022. Se buscó “2021” como equivalente de 2022 porque, como bien explicó la ONAMET en el archivo fuente, el año actual no se hace constar hasta tanto haya transcurrido por completo.

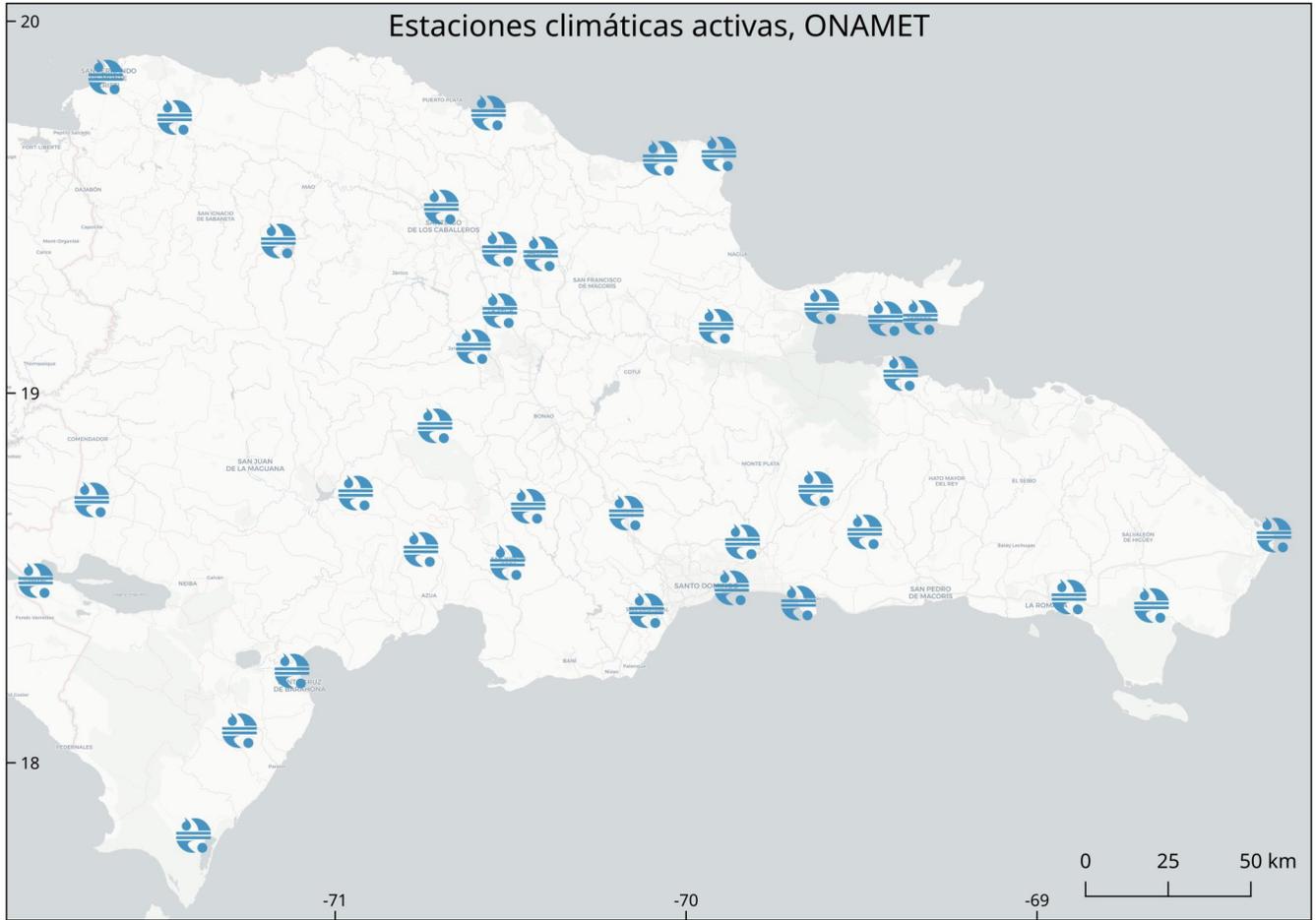
En la lista de estaciones meteorológicas convencionales con indicación de coordenadas, se encontraron 83 registros, mientras que la lista de estaciones con indicación de período de medición contenía 77 estaciones. De las estaciones con indicación de período, se encontró un total de 36 estaciones registrando datos hasta 2022. De estas, a 32 estaciones se les localizaron sus homólogas en la lista de coordenadas, y a 4 (Cabo Engaño, La Vega, Loyola (SCR), Santiago) no se les pudo localizar sus correspondientes homólogas con coordenadas. En los casos de La Vega y Santiago, la incertidumbre se debió a que hay varias estaciones en dichas ciudades, lo cual hace difícil determinar con cuáles estaciones crear la correspondencia. Por lo tanto, en los archivos facilitados, **se encontraron 87 estaciones, de las cuales 36 se encuentran en estado “activo”, mientras las restantes 51 en estado “inactivo o no reportado”**. Cabe destacar que en la visita a la institución, el personal entrevistado destacó la existencia de unos 108 puntos de mediciones, sin incluir las estaciones voluntarias. Sin embargo, ese número no se correspondió con el de las estaciones incluidas en las listas entregadas.

El mapa siguiente muestra la ubicación de las estaciones y su estado de funcionamiento.

Como se puede notar, **el mayor desafío que presentaron los datos de la ONAMET fue determinar la correspondencia de las estaciones entre listas debido a la ausencia de un código (clave) común**. Si bien cada lista de estaciones asigna códigos o nombres únicos a las estación, estos no son consistentes entre listas. Aunque muchas estaciones pudieron emparejarse, en algunos casos se llevó a cabo la correspondencia con un cierto nivel de incertidumbre o, en casos extremos, no fue posible establecer la relación. Por lo tanto, se concluye que **si cada estación contase con un identificador único, la correspondencia se realizaría de forma más eficiente y certera**.



Ubicación de las estaciones de la red meteorológica de la ONAMET.



Ubicación de las estaciones activas de la red meteorológica de la ONAMET.

Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI)

El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI) es la entidad gubernamental responsable de la conservación y uso sostenible de los recursos hídricos en la República Dominicana. Su objetivo principal es asegurar la disponibilidad, calidad, cantidad y acceso equitativo al agua, especialmente para la irrigación. Desde el año 2000, el INDRHI es parte del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

En su labor para cumplir con su misión institucional, el INDRHI también tiene la responsabilidad de registrar, transmitir, procesar, almacenar, analizar y publicar datos hidrológicos y climáticos. Esta tarea es llevada a cabo por el Departamento de Hidrología, el cual se encuentra estructurado en tres divisiones: la División de Redes Hidrológicas, la División de Datos Hidrometeorológicos y la División de Previsión Hidrológica.

Para la definición de la línea base de la red de monitoreo meteorológico e hidrométrico del INDRHI, se utilizó como fuente un único archivo (Informe Final inventario estaciones hidrometeorológicas INDRHI, Rep. Dom..pdf), el cual fue elaborado por personal técnico de la institución en 2019, con el objetivo de documentar el estado de sus estaciones hidroclimáticas. El documento fue entregado en formato PDF, por lo que hubo que extraer la información programáticamente. Las informaciones sobre el estado de las estaciones fueron complementadas con comunicaciones directas con personal del INDRHI.

Las estaciones reportadas en el informe son de dos tipos generales: hidrométricas y climáticas. De las primeras, las hidrométricas ascienden a 175, mientras que las climáticas alcanzan un total de 61 estaciones. En ambos casos, el INDRHI clasificó las estaciones según tres categorías de “estado”: Bueno, Regular, y Malo.

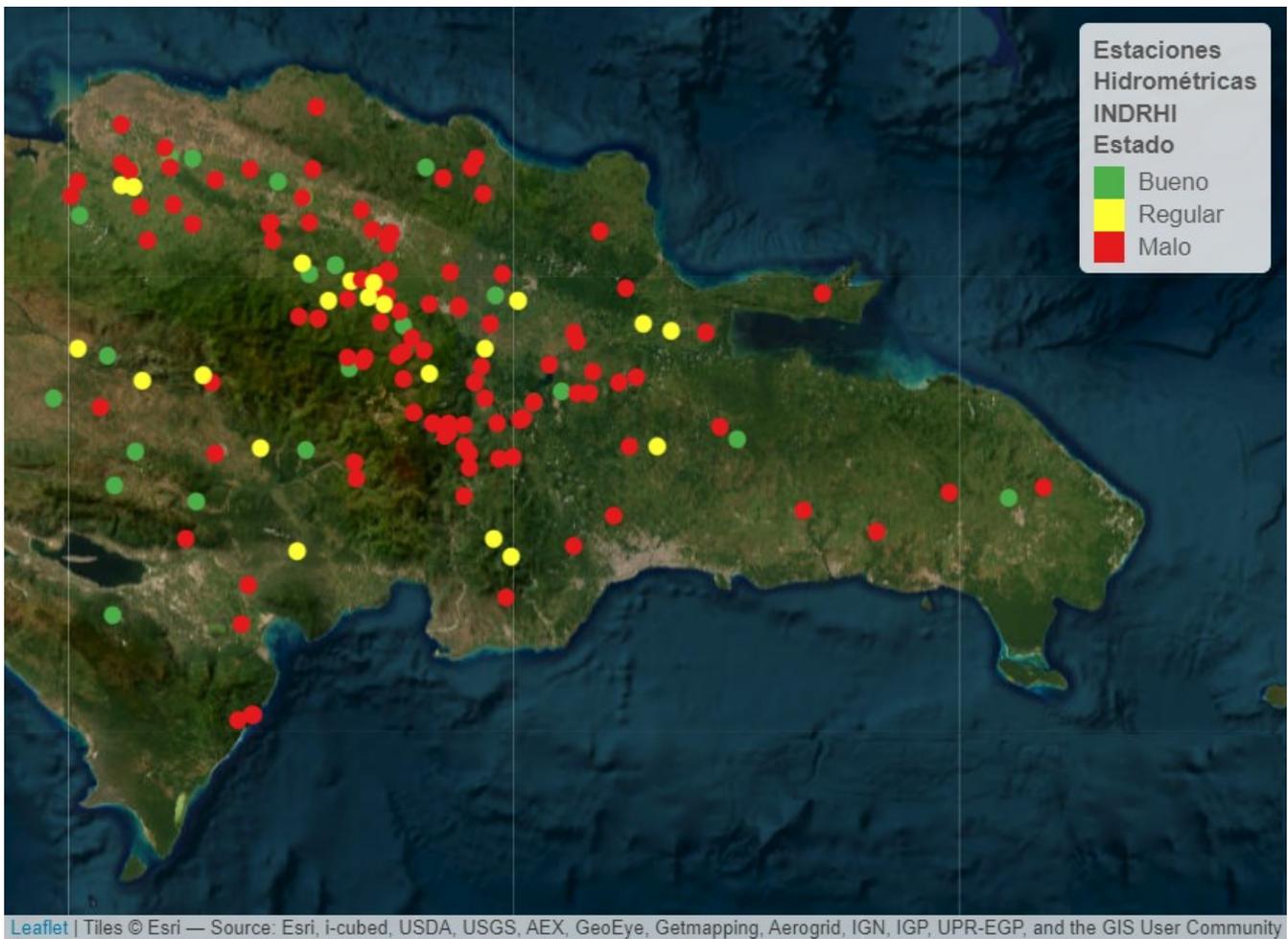
En el referido informe, **de un total de 175 estaciones hidrométricas, 121 se encontraban en la categoría “Malo”, 24 en estado “Regular” y 30 en la categoría “Bueno”**. Las estaciones de la categoría “Malo” se encontraban fuera operación al momento de realizarse el censo, presentando daños significativos, por lo que su restablecimiento podría resultar complicado. En el caso de las estaciones en estado “Regular”, aunque las referidas estaciones no se encontraban en operación al momento de realizarse el levantamiento en 2019, su restablecimiento requería una inversión relativamente pequeña. Finalmente, las estaciones en estado “Bueno” se encontraban funcionando normalmente.

A modo de actualización, según informaciones proporcionadas por el Ing. Israel Acosta, encargado del Departamento de Hidrología del INDRHI, el número de estaciones por categoría de estado no ha cambiado de manera significativa en años posteriores al 2019. El ingeniero añadió que se reportaron algunas incidencias prevalentemente relacionadas con cambios del personal responsable en el terreno. El Ing. Acosta destacó, además, que una buena parte de las 24 estaciones en estado regular sigue siendo recuperable en la actualidad con una inversión mínima.

En cuanto a la localización de las estaciones, la tabla de las estaciones hidrométricas aportada por el INDRHI cuenta con dos pares de columnas de coordenadas bajo las denominaciones Latitud, Longitud, Latitud Corregida, Longitud Corregida. El primer par contiene valores que parecen ser coordenadas de falso norte y falso este en la proyección UTM (no se especifica datum, por lo tanto se asume que sea WGS84), por lo que no se trata de coordenadas latitud/longitud. El segundo par, con el mismo nombre y sufijo “Corregida”, sugiere una mejora en la precisión y la mayoría de sus coordenadas está expresada en sistema sexagesimal de latitud y longitud, aunque también haya algunas UTM entremezcladas.

Para garantizar la consistencia de las coordenadas, se escribió una función, basada en expresiones

regulares, que elegía de preferencia el par de coordenadas del grupo “Corregida”; en el caso en que este no estaba disponible, elegía entonces el par “normal”. Se destaca también que algunas estaciones (como las No. 1, 105, 106 y 116) no disponían de coordenadas de ninguna clase, mientras que otras (como las No. 118, 119 y 120) registraban valores claramente erróneos y no atribuibles a ningún sistema de referencia. La función creada excluyó dichas estaciones del mapa y de los análisis posteriores. Todas las coordenadas fueron transformadas a sistema de coordenadas geográficas, WGS84 (EPSG:4326). La tabla exhaustiva de las estaciones, conteniendo las coordenadas consolidadas y depuradas, es reportada en Anexo 2, mientras a continuación se presenta el mapa de su ubicación.



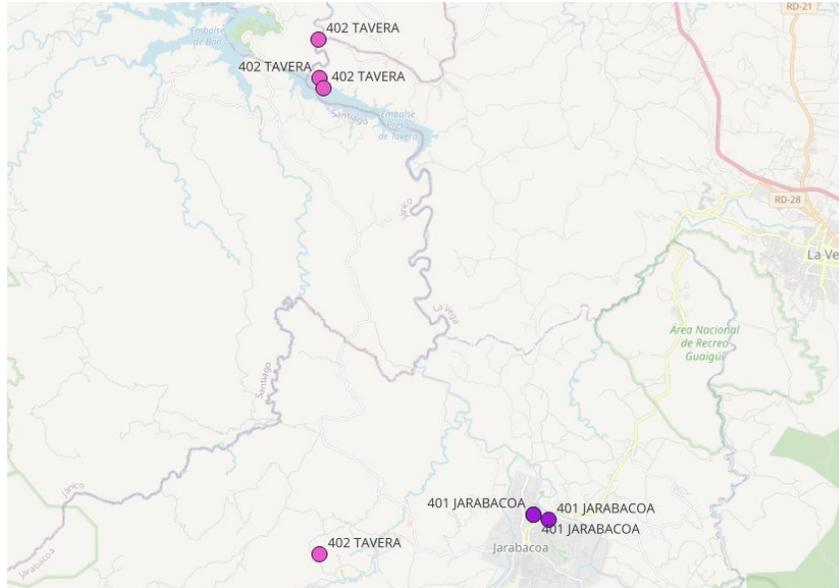
Ubicación de las estaciones de la red hidrométrica del INDRHI.

La fuente empleada para extraer la lista de estaciones climáticas, con sus respectivos estados de operación, fue la misma que la usada para las hidrométricas, es decir, el inventario procedente del archivo en formato .pdf (Informe Final inventario estaciones hidrometeorológicas INDRHI, Rep. Dom..pdf). La categorización de estaciones según su estado indica que, **del total de las 61 estaciones climáticas, 32 se encontraban en la categoría “Malo”, 12 en estado “Regular” y 17 en la categoría “Bueno”.**

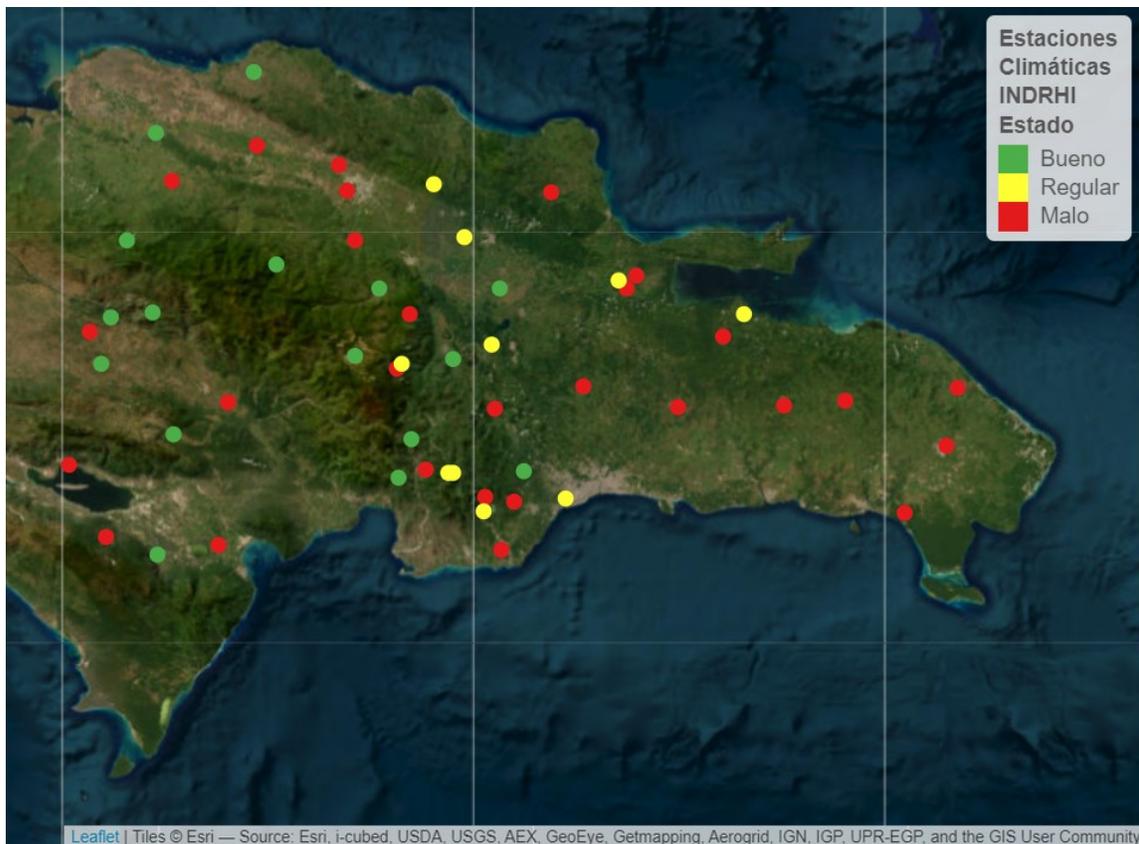
La tabla fuente carecía del necesario atributo “coordenadas”, así que, para avanzar en la generación del mapa de estaciones climáticas del INDRHI, nuevamente hubo que manipular los datos (*data wrangling*). La ausencia de coordenadas fue suplida uniendo la tabla inventario (sin coordenadas) con una lista histórica de estaciones en su mayoría georreferenciadas con coordenadas UTM y/o LAT/LON. Esta última tabla fue aportada por el Departamento de Hidrología de INDRHI y corregida puntualmente por el equipo de análisis (Listado Red Medicion INDRHI_Historico_24-10-2022_revision_jr.xlsx). Se aprovechó la existencia de campos comunes (código, nombre de estación) entre este archivo y la tabla de inventario procedente del PDF. No obstante, afloraron tres nuevas dificultades:

1. En la tabla de inventario, el campo “Código” no fue rellenado para todas las estaciones. En este caso, se complementó la unión usando el campo nombre de estación. Se usó el criterio de provincia, cuenca y localidad, para asegurarse de que las estaciones con nombres genéricos (por ej., “Cacheo”) y uso generalizado fuesen unívocamente identificadas en el par de tablas. Al unir por “nombre estación”, también se corría el riesgo de que nombres coincidentes no fuesen correctamente emparejados al comparar cadenas parecidas pero no exactamente iguales (diferencias de grafías, signos de puntuación, omisiones de artículos). Para ello, se evaluó la coincidencia de los campos de nombres de estación en las dos tablas (la de inventario, sin coordenadas, y la histórica, con coordenadas), mediante coincidencia aproximada de cadenas, búsqueda de texto difuso y funciones de distancia de cadenas.
2. En el archivo histórico, muchas estaciones son repeticiones (duplicados, triplicados, ...), presentando cada copia coordenadas iguales y/o ligeramente diferentes entre sí. Normalmente, las distancias entre repeticiones no superaba los 100 m, sin embargo también aparecieron casos extremos, con diferencias de hasta 20 km (ver ejemplo en la figura siguiente), por lo que hubo que elegir la instancia más probable según criterio propio del equipo técnico, conocimiento del terreno y/o fuentes cartográficas en entorno SIG (software QGIS).
3. No todas las estaciones disponían de coordenadas en el archivo histórico. Por lo tanto, las estaciones sin coordenadas fueron excluidas del mapa.





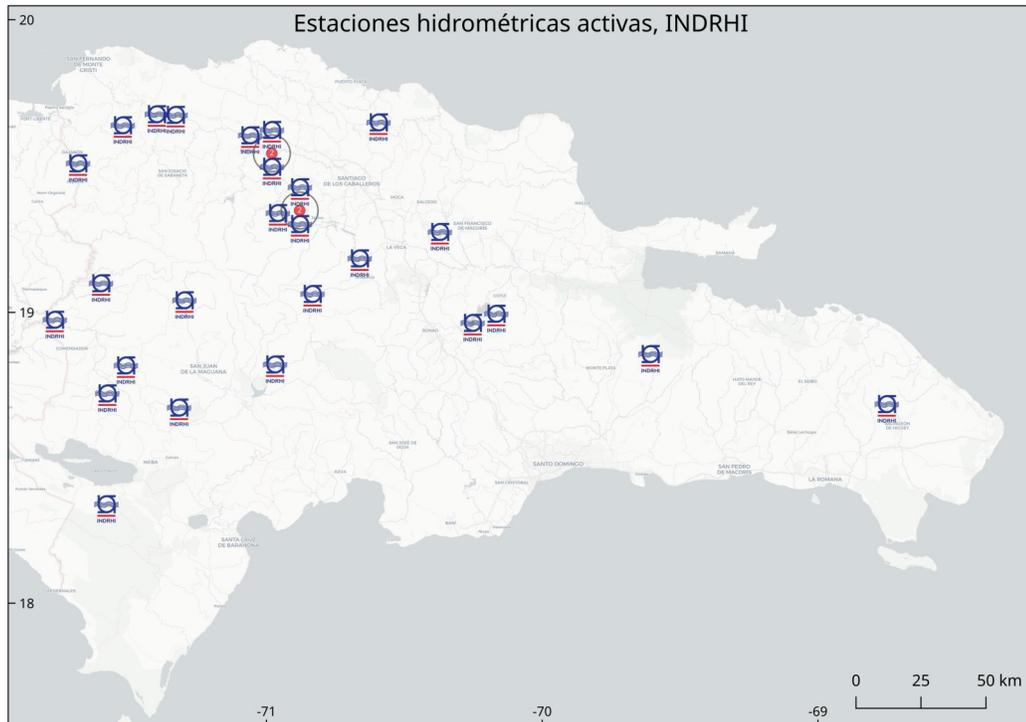
Ejemplos de estaciones repetidas en archivo histórico del INDRHI .



Ubicación de las estaciones de la red climática del INDRHI.



Ubicación de las estaciones hidrométricas activas de la red del INDRHI.



Ubicación de las estaciones climáticas activas de la red del INDRHI.

Central Romana (CR)

Central Romana Corporation, Ltd., es una empresa agroindustrial y turística con sede en la República Dominicana, donde inició sus operaciones en 1912 como productor de azúcar y siguió expandiendo sus operaciones en las siguientes áreas: químicos, zonas francas, ganado, procesadores de productos cárnicos y lácteos, producción de materiales de construcción y hierro, operación de puerto y aeropuerto, bienes raíces y turismo.

En el ámbito de sus labores, Central Romana ha venido estableciendo una red de monitoreo meteorológico que le permita contar con información relevante para sus actividades productivas.

A pesar de reiteradas solicitudes, no fue posible reunirse con la entidad ni recibir informaciones sobre el número de puntos de medición y su ubicación.

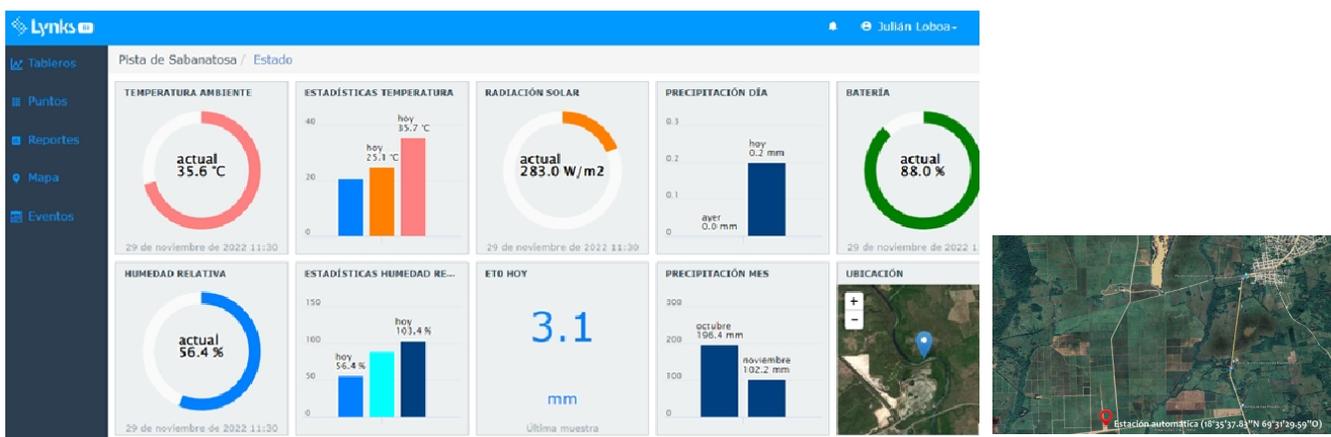
Consorcio Azucarero de Empresas Industriales (CAEI)

El Consorcio Azucarero de Empresas Industriales (CAEI) es un grupo de entidades comerciales del sector agroindustrial, que inició sus operaciones en la República Dominicana en 1883 como Ingenio Cristóbal Colón.

En la gestión de la producción azucarera es esencial la disponibilidad de datos meteorológico en tiempo real, especialmente para el manejo costo-efectivo de las prácticas agrícolas. En este sentido, frente a la imposibilidad de acceder a informaciones de esta naturaleza con el detalle apropiado, el grupo empresarial adoptó la medida de establecer su propia red de medición, que actualmente está compuesta por una estación automática en San José de Los Llanos (San Pedro de Macorís) y 94 pluviómetros manuales distribuidos en las fincas azucareras de la provincia San Pedro de Macorís (Anexo 2).

La estación automática, cuyos datos son enviados en línea y registrado en www.lynks.com. Su consulta no está abierta al público y se lleva a cabo sin una API de acceso.

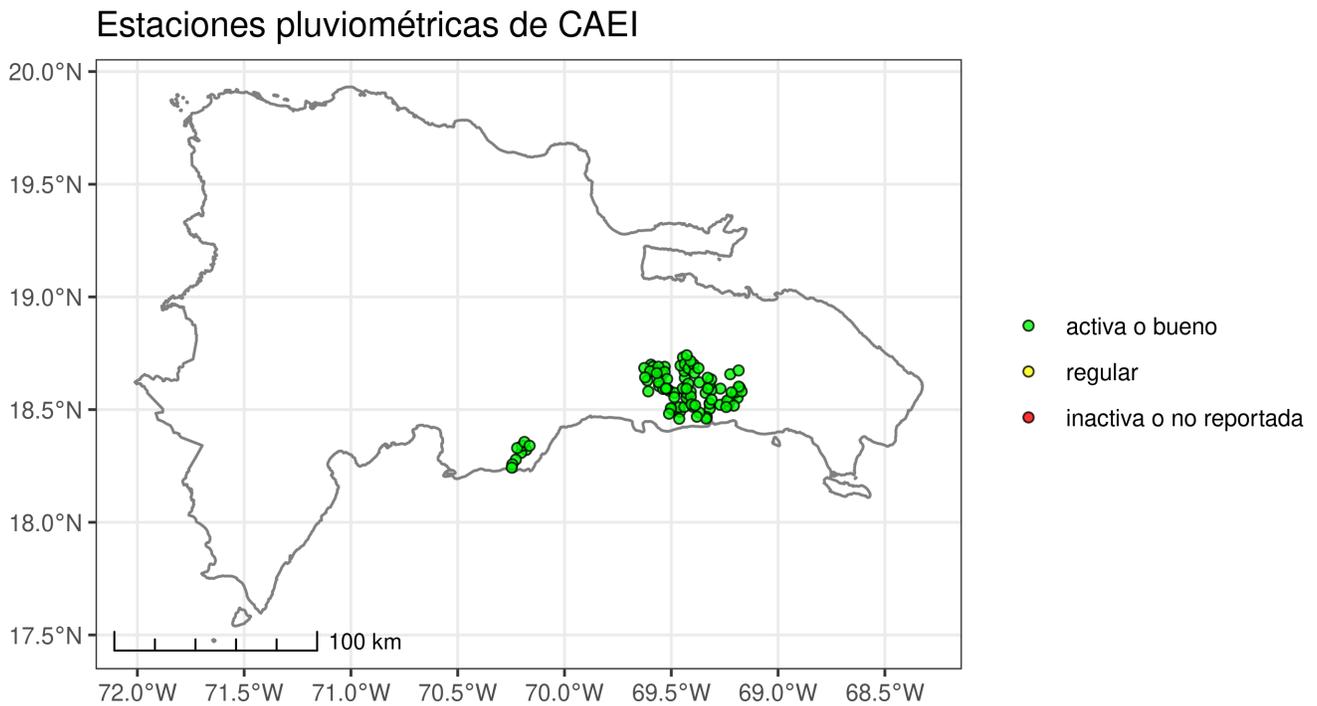
El CAEI tiene previsto ampliar la red de estaciones automáticas con por lo menos dos puntos de medición adicionales en el corto plazo.



Ubicación de la estación automática del CAEI (derecha) y ejemplo de visualización de datos en línea (izquierda).



Ubicación de la estación climática activa de CAEI.



Ubicación de las estaciones pluviométricas de CAEI.

Empresa de Generación Eléctrica Haina (EGE Haina)

EGE Haina es una compañía de generación eléctrica, fundada por la Ley de Reforma de la Empresa Pública el 28 de octubre de 1999, como alianza público-privada, siendo la principal empresa mixta del país.

En los sitios de generación de energía eólica y fotovoltaica, la empresa cuenta con puntos de medición meteorológico, para un total de 13 estaciones automáticas que, con una frecuencia de 1 segundo, transmiten las informaciones de las variables medidas a una base de datos interna. Todas las estaciones se encuentran actualmente en funcionamiento.

Los únicos datos disponibles para el público son los siguientes:

Ubicación	Tipo de sitio	Año de entrada en funcionamiento
Azua	Campo fotovoltaico	2019
Monte Cristi	Campo eólico	2021
Monte Cristi	Campo fotovoltaico	2016
Pedernales	Campo fotovoltaico	2021
Peravia	Campo eólico	2016
San Francisco de M.	Campo fotovoltaico	2022
San Pedro de M.	Campo fotovoltaico	2020
San Pedro de M.	Campo fotovoltaico	2015
San Pedro de M.	Campo fotovoltaico	2022
Santiago	Campo eólico	2020
Santiago	Campo eólico	2019
Santiago	Campo fotovoltaico	2015
Valverde	Campo eólico	2020

Fundación REDDOM

La Fundación REDDOM es una asociación sin fines de lucro dominicana que trabaja para promover el bienestar de la población humana, la equidad y la sostenibilidad ambiental, operando especialmente en tema de agua y saneamiento, adaptación al cambio climático y producción agropecuaria.

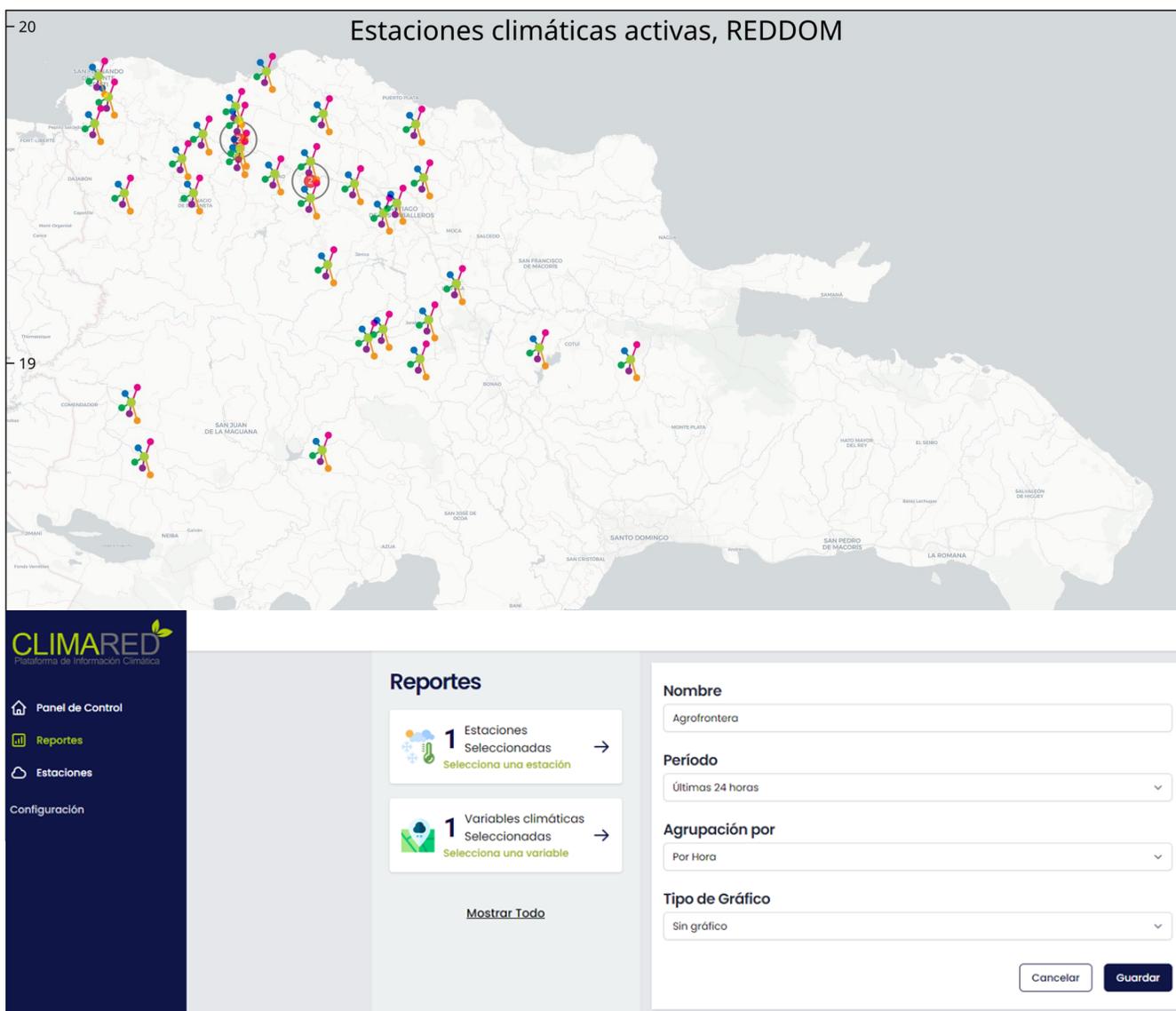
En el ámbito de su labor orientada a la reducción de la vulnerabilidad del sector agropecuario del país, la Fundación REDDOM, en el marco del Programa Seguro de Índice y Cambio Climático, auspiciado por la Agencia para la Cooperación Internacional de los Estados Unidos (USAID, por sus siglas en inglés), desarrolló una red de estaciones agrometeorológicas, asociada a la Plataforma de Información Climática-CLIMARED. El objetivo es monitorear las condiciones agrometeorológicas y contar con informaciones históricas y en tiempo real para tomar decisiones costo-efectivas en las actividades agropecuarias.

La red cuenta con 32 estaciones automáticas del modelo Davis, de las cuales un porcentaje significativo está ubicado en el noroeste (Anexo 2). Algunas de las estaciones son comanejadas con entidades vinculadas a

los sectores agropecuario y académico, como Bananos Ecológicos de la Línea Noroeste (BANELINO) y la Universidad ISA.

Las estaciones transmiten en tiempo real a la plataforma de la misma empresa proveedora de las estaciones (www.WeatherLink.com). En la plataforma existe la posibilidad de registrarse como usuario. Sin embargo, el acceso a los datos no es libre.

La Fundación REDDOM, a su vez, descarga los datos de la plataforma Davis a una base de datos internas y los datos son visualizable en la plataforma ClimaRed (www.climared.com), la cual es accesible previo registro de usuario. Actualmente los usuarios registrados pueden visualizar la lista de las estaciones y la



Ubicación de las estaciones de la red de la Fundación REDDOM (arriba) y vista de la plataforma de acceso a los datos (abajo).

fecha y hora de la última actualización, sin embargo, está restringido el acceso a los datos.

Existe un acuerdo de colaboración entre la Fundación REDDOM y la ONAMET, a partir del cual debería concretizarse el intercambio de datos. Sin embargo, hasta el momento la ONAMET no cuenta con acceso a la base de datos y la incorporación de las estaciones de la Fundación REDDOM a la red de medición nacional está supeditada a la certificación de parte de la ONAMET del cumplimiento de los estándares de la OMM.

Guakía Ambiente

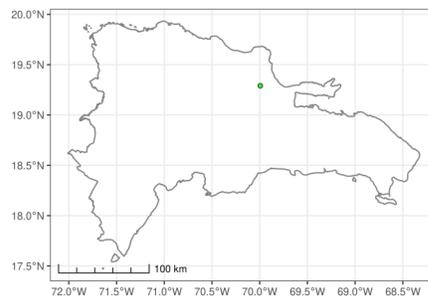
Guakía Ambiente es una asociación sin fines de lucro dominicana que desde el 2012 trabaja para fomentar medios de vida sostenible, a partir del empoderamiento comunitario y el conocimiento científico del territorio. En esta labor, promueve investigaciones científicas en temáticas ambientales, las cuales incluyen el establecimiento de puntos de medición de variables hidrometeorológicas.

De manera particular, desde el 2015 cuenta con un pluviómetro manual y un termómetro Testo 176 T2, con registro en tarjeta SIM, ambos comanejados con la Asociación de Cacaocultores los Innovadores de Vuelta Larga (ASOCAIVUL) y la comunidad de Vuelta Larga (El Factor, María Trinidad Sánchez).

Actualmente el termómetro se encuentra en mantenimiento.

El pluviómetro está funcionando, siendo las mediciones pluviométricas registradas por una persona de la comunidad que, de manera voluntaria, toma el dato de lluvia a las 8 am de cada día y lo anota en un registro de papel, enviando periódicamente el dato a Guakía Ambiente. La estación fue verificada por técnicos de la ONAMET y su incorporación a la red nacional está sujeta exclusivamente a la posibilidad de transmitir el dato diario vía teléfono o Internet, una vez que sean solucionada la carencia de señal telefónica y de Internet en la comunidad.

Guakía Ambiente no cuenta con una base de datos, mas las informaciones son registradas en archivos Excel guardados en servidores locales. Los datos son de libres acceso para quienes los soliciten.



Estación climática de Vuelta Larga: ubicación (arriba) y un momento de la instalación del termómetro con personal técnico de la ONAMET (a la izquierda).

Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF)

El IDIAF fue creado en 1985, mediante la Ley 289, como organismo descentralizado del estado dominicano con dos objetivos principales: 1) dirigir y ejecutar la política de investigación científico-tecnológica del sector público agropecuario y forestal del país; y 2) contribuir a elevar el nivel tecnológico de los productores agropecuarios y forestales, con la finalidad de incrementar la producción y productividad de los principales rubros nacionales.

En el ámbito de su labor, en el pasado el IDIAF contó con una red de 20 estaciones meteorológicas, las cuales fueron descontinuadas y de ellas no se ha conservado información, ni por lo que se refiere a las series de datos registrados ni por lo que concierne su ubicación y características.

Sigue siendo una prioridad del IDIAF poder contar con datos hidrometeorológicos, puesto que la información de esta naturaleza es clave para cualquier investigación asociada a los sectores agropecuario y forestal.

Instituto Dominicano del Café (INDOCAFE)

El Instituto Dominicano del Café (INDOCAFE), creado en el 2017 mediante la Ley 246-17, es un ente público descentralizado adscrito al Ministerio de Agricultura, cuyo objetivo es promover el desarrollo integral y sostenible de la caficultura en el país.

En el pasado, en colaboración con la ONAMET instaló dos estaciones en igual número de fincas cafetaleras. Además, en el ámbito de proyectos específicos, como el Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roya del Café (PROCAGICA), estuvo colaborando en la gestión de estaciones meteorológicas instaladas en algunas fincas cafetaleras definidas como “centinelas”, para alertar en el caso de ocurrencia de condiciones atmosféricas favorables al desarrollo de la roya.

Sin embargo, actualmente INDOCAFE no cuenta con estaciones hidrometeorológicas funcionando y carece de información sobre las estaciones instaladas en el pasado. La entidad es más bien usuaria de datos de esta naturaleza, procedentes prevalentemente de la ONAMET y el INDRHI.

Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC)

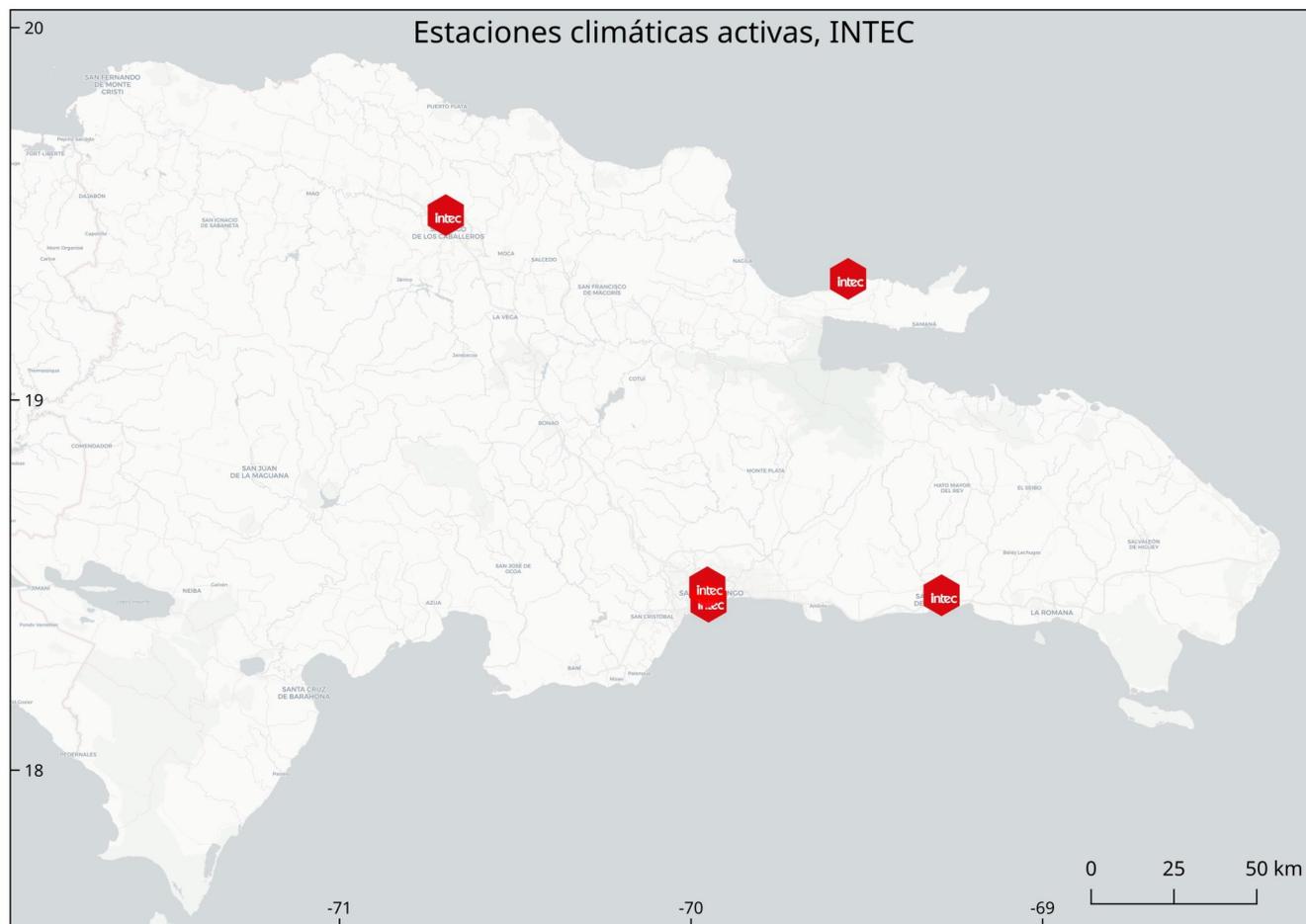
El Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC), fundado en el 1972, es una de las principales universidades privadas del país.

En el ámbito de su misión académica, la investigación climática constituye un pilar para el conocimiento científico del ambiente y una base para la adaptación al cambio climático. Por lo tanto, el INTEC, en colaboración con otras entidades, ha venido apostando a la constitución de redes de monitoreo meteorológico. De manera particular, en el ámbito del Programa de Información Climática, financiado por la USAID, el INTEC lanzó el Observatorio de Cambio Climático y Resiliencia (InfoClima RD), el cual pretende ser una plataforma de datos georreferenciados asociados a un sistema de información que genere

reportes, mapas de riesgo y otros elementos relevantes para la toma de decisiones a nivel de territorio.

El sistema está concebido para recibir los datos de estaciones meteorológicas, instaladas en coordinación con la ONAMET. Inicialmente 7, son 5 las estaciones, todas modelo Davis, que están funcionando actualmente (Anexo 2). Los datos son transmitidos a la plataforma de la misma empresa proveedora de las estaciones (www.WeatherLink.com), a la cual personal del INTEC accede a través de un usuario registrado.

Los datos no llegan directamente a la ONAMET, sino que son transmitidos periódicamente por el INTEC.



Ubicación de las estaciones climáticas activas de la red de INTEC.

Junta Agroempresarial Dominicana (JAD)

La Junta Agroempresarial Dominicana (JAD) es la principal organización privada del sector agropecuario en la República Dominicana. Su misión es apoyar, fomentar y promover la producción nacional, brindando servicios técnicos a los productores en los procesos de la cadena de valor. Asimismo, la JAD trabaja en la promoción de prácticas productivas y un entorno institucional favorable para mejorar la competitividad de los productores en los mercados nacionales e internacionales, y contribuir así a la soberanía y seguridad alimentaria en un marco de sostenibilidad ambiental, económica y social.

En esta labor, el acceso a información meteorológica de calidad es una prioridad. Intentando paliar, por lo menos en parte, las debilidades del país en tema de servicios climáticos, la JAD ha instalado su propia red de monitoreo meteorológico, compuesta por 13 estaciones, distribuidas en diez provincias del país (Anexo 2). De las mismas no están disponibles las coordenadas.

Los datos son transmitidos a la plataforma de la misma empresa proveedora de las estaciones (www.WeatherLink.com), a la cual personal de la JAD accede a través de un usuario registrado. En el sitio web de la entidad es posible acceder a los datos instantáneos registrados por las estaciones, pero no a las series históricas.

The screenshot displays the JAD website interface. At the top, there is a navigation bar with the JAD logo, social media icons, a search bar, and the date 'Martes, 28 Marzo 2023'. Below the navigation bar are three main menu items: 'ESTACIONES METEOROLÓGICAS', 'ASOCIATE A LA JAD', and 'INDICADORES ECONÓMICOS'. The main content area features a large banner for 'ESTACIONES METEOROLÓGICAS'. Below the banner, there are two main sections: 'ESTACION AGABO' and 'PRÓXIMOS EVENTOS'. The 'ESTACION AGABO' section shows weather data for 'AGABO - Bonaio, Monseñor Nouel, DOM' with a current temperature of 29°C, high of 29°C at 01:09 PM, and low of 19°C at 06:44 AM. Other data includes Wind: 0 km/h, Humidity: 60% (Feels like 31°C), Rain: 0.01 in (Seasonal Total 15.67 in), and Barometer: 30.09 in Hg (Falling Slowly). The 'PRÓXIMOS EVENTOS' section lists three events: 'XXII Encuentro Nacional de Líderes del Sector Agropecuario' on 16 OCT, 'Ruta a Valle Nuevo Constanza' on 08 FEB, and 'XXIV Concurso Nacional de Pintura Agro & Naturaleza' on 06 DIC. Below the events section is a 'AGROREPORTAJES' section with a video thumbnail.

Visualización de datos instantáneos de las estaciones meteorológicas de la JAD en el sitio web institucional.

Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra (PUCMM)

La Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra (PUCMM) es una de las principales entidades académicas privadas del país, siendo la primera universidad privada a ser fundada en la República Dominicana, en el año 1962.

En respuesta a las preocupaciones crecientes asociadas al cambio climático, la PUCMM ha venido agregando oportunidades formativas específicas a sus ofertas académicas y, a la vez, ha iniciado a desarrollar líneas de investigación en el tema, las cuales incluyen el establecimiento de puntos de medición meteorológica. Actualmente, la entidad cuenta con dos estaciones, una en el campus de Santiago de los Caballeros y una en el campus de Santo Domingo (Anexo 2), cuyas características no están disponibles.

Los datos son registrados en archivos Excel por el personal responsable de su mantenimiento.



Ubicación de las estaciones climáticas activas de la PUCMM.

Servicio Geológico Nacional (SGN)

El Servicio Geológico Nacional (SGN) es la institución estatal, creada mediante la Ley 50-10 del 2010, encargada del “ejercicio de atribuciones en las actividades relacionadas con las ciencias de la tierra y ciencias geoambientales: geología, hidrogeología, recursos geológicos y minerales, procesos geológicos, geología marina y litoral, geofísica, geotecnia, geoquímica y geodiversidad”. Es un organismo autónomo adscrito al Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (MEPyD).

En el ejercicio de sus funciones, el SGN tiene un programa de monitoreo de mediciones hidrométricas en cuencas prioritarias del país, iniciado con la cooperación de la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA, por sus siglas en inglés). Fruto de este programa, la entidad cuenta actualmente con dos puntos de medición hidrométrica, uno en el Río Ozama (en Barrera de Salinidad) y otro en el Río Haina (en Manoguayabo) (Anexo 2). Ambos instrumentos son telemétricos, contando el primero con un sensor tipo “Quarzo” y el segundo con un sensor tipo “Ultrasónico”.

Los datos registrados son cargados en archivos colgados en el sitio web del SGN, en la siguiente dirección: <https://sgn.gob.do/index.php/geologia-y-tematicos/info-hidrogeologia/category/31-estaciones-hidrogeologicas-en-rd>.



Ubicación de las estaciones hidrométricas del SGN.

Universidad ISA

La Universidad ISA fue fundada en 1962, por iniciativa de la Asociación para el Desarrollo (APEDI), como un instituto vocacional que respondiera a las necesidades formativas que impulsaran el desarrollo de una sociedad prevalentemente rural, fundamentada en una economía típicamente agrícola.

Actualmente, es una de las principales entidades académicas del país en temas relacionados con las ciencias agronómicas y de la producción agropecuaria.

Como soporte a la labor académica y de investigación, la entidad cuenta con algunos puntos de medición meteorológica (Anexo 2), constituidos por 3 estaciones instaladas en un mismo sitio, ubicado en el campus universitario de Santiago de los Caballeros.

De estas estaciones, una, de tipo Davis, es parte de la red de la Fundación REDDOM, siendo comanejada por la universidad. Mide cada 5 minutos y transmite los datos a un servidor interno de la institución y a la plataforma de la misma empresa proveedora de las estaciones (www.WeatherLink.com). Los datos son accesible a través de software propietario provisto por el suplidor de la estación.

La segunda estación, de la cual no se especificó el tipo, fue donada por la JICA y mide con una frecuencia de muestreo de 10 minutos. Los datos son descargados semanalmente a través de una tarjeta de memoria por el personal técnico encargado de la estación y son guardados en archivos separados, en formato .dat.

La tercera estación es parte de la red INDRHI y el levantamiento es realizado manualmente, con frecuencia diaria, por personal de la universidad, quien procede luego a enviar los datos al INDRHI. En la universidad los datos son guardados en un archivo Excel, a partir de los datos levantados por el observador.

Las tres estaciones son manejadas de manera independiente una de la otra.



Ubicación de las estaciones climáticas de la Universidad ISA.

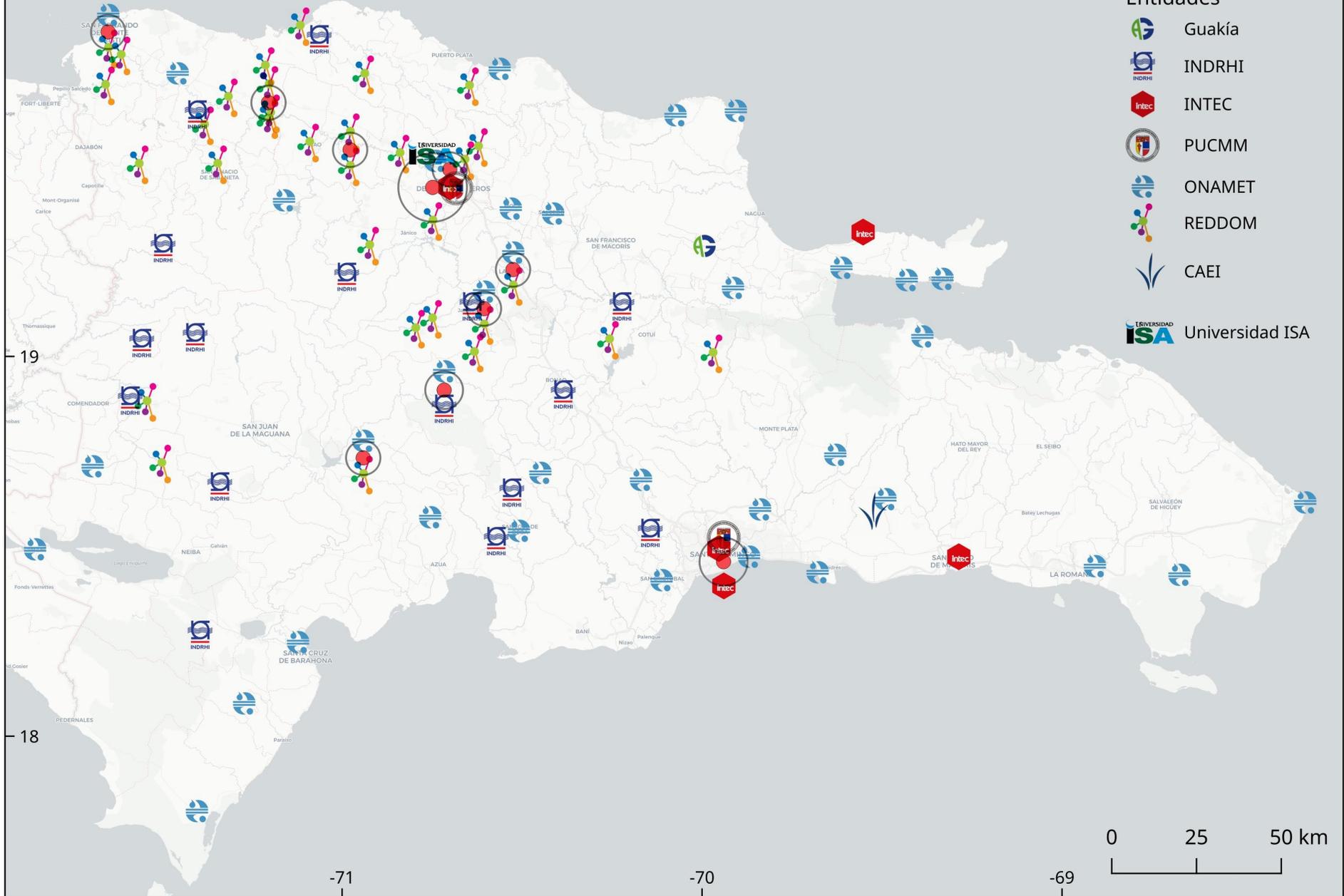
Plan para el Desarrollo de la Cuenca del Río Yaque del Norte (Plan Yaque)

Fruto de un descubrimiento posterior, a las entidades anteriores se suma el Plan para el Desarrollo de la Cuenca del Río Yaque del Norte (Plan Yaque) es una organización no gubernamental que, fundada en el 2009, trabaja para la protección, conservación y el manejo sostenible de los recursos naturales de la cuenca del Río Yaque del Norte.

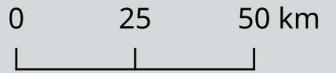
En el ámbito de su labor, consciente de la importancia de contar con mediciones de variables ambientales para poder orientar más efectivamente las intervenciones en el territorio, en colaboración con la Charles River Watershed Association, ha establecido un sistema de monitoreo de caudales en las subcuencas de la cuenca alta del Río Yaque del Norte, cuyo registros se encuentran parcialmente recolectados en la plataforma YaqueNet (<https://www.yaquenet.com>).

En ella se encuentran, divididos por subcuenca, registros de mediciones puntuales, las más recientes de las cuales llegan al 2019.

Estaciones climáticas activas según entidades



- Entidades
- Guakía
 - INDRHI
 - INTEC
 - PUCMM
 - ONAMET
 - REDDOM
 - CAEI
 - Universidad ISA



LÍNEA DE BASE: Escenarios de cambio climático

Un “escenario” es una “descripción plausible de un futuro verosímil, basada en un conjunto consistente y coherente de supuestos sobre las fuerzas motrices (por ejemplo el ritmo de la evolución tecnológica y los precios) y sobre las relaciones más importantes” (IPCC, 2013).

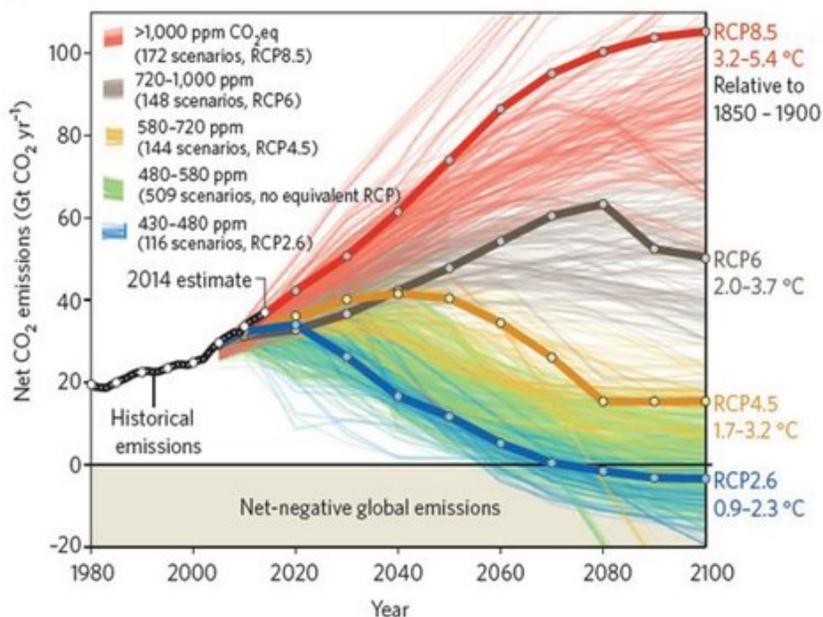
De esta definición se deriva la de “escenario climático”, o sea “una representación plausible y en ocasiones simplificada del clima futuro, basada en un conjunto coherente de relaciones climatológicas internamente definido explícitamente para investigar las posibles consecuencias del cambio climático antropógeno, y que puede introducirse como datos entrantes en los modelos de impacto” (IPCC, 2013).

La elaboración de escenarios es una base crucial para que los tomadores de decisiones consideren cuidadosamente las variables importantes que influyen en el entorno y cómo se relacionan entre sí, generando ciertas consecuencias en el territorio, a diferentes escala.

Los escenarios y las modelaciones de las proyecciones del clima futuro son actualizados periódicamente, con el objetivo de contar con instrumentos decisionales ajustados a una realidad cambiante.

A nivel global, a lo largo del tiempo, se han multiplicado los esfuerzos de la comunidad científica internacional para generar una base metodológica estandarizada orientada a hacer que las proyecciones sean comparables. Para eso, se lanzó el Proyecto de Intercomparación de las Simulaciones de los Escenarios de Cambio Climático (CMIP, por sus siglas en inglés).

A partir de esas premisas, en los informes de evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) se han venido elaborando y actualizando los escenarios usados para las proyecciones. De manera particular, en el Quinto Informe de Evaluación (AR5, por sus siglas en inglés) (IPCC, 2013), los escenarios fueron definidos como Rutas de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés), que, a partir de diferentes investigaciones sobre el tema, proporcionan rangos de emisión y concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para el análisis de posibles climas futuros. Los escenarios van del más virtuoso (RCP2.6) al más alto en emisiones (RCP8.5), pasando por escenarios de mitigación mediana (RCP4.5 y RCP6.0).

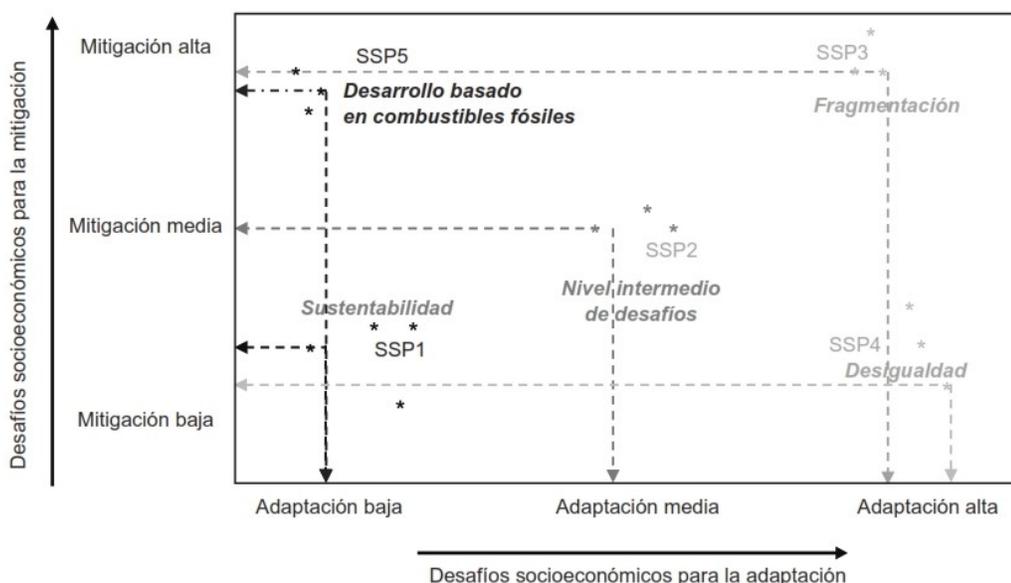


Escenarios de cambio climático elaborados para el Quinto Informe de Evaluación (AR5, por sus siglas en inglés) del IPCC (IPCC, 2013).

En el Sexto Informe de Evaluación (AR6, por sus siglas en inglés), los escenarios fueron desarrollados como “Trayectorias Socioeconómicas Compartidas” (SSP, por sus siglas en inglés), que refinan los escenarios RCP. En efecto, a diferencia de estos, los escenarios SSP están basados en características socioeconómicas estandarizadas, que permiten mapear cambios de componentes sociales como población, educación y políticas gubernamentales en tema de cambio climático. Las SSP guían el análisis definiendo como las elecciones en los diferentes ámbitos sociales impactan el Forzamiento Radiativo, parámetro usado para describir el cambio en el balance de energía de la Tierra debido a la alteración de la cantidad de radiación que llega y sale del sistema climático.

El AR6 presenta cinco SSP, que, desde la más virtuosa (SSP1 - Sustentabilidad), abarcan un amplio rango de posibilidades, identificando los desafíos correspondientes:

- SSP1 (“Sustentabilidad”) está basados en los siguientes supuestos: bajo crecimiento de la población, alto crecimiento económico, altos niveles de educación, gobernabilidad, sociedad globalizada, cooperación internacional, desarrollo tecnológico y conciencia ambiental. El SSP1 presenta bajos niveles de desafíos de mitigación y adaptación.
- SSP2 es un escenario intermedio entre el SSP1 y el SSP3.
- SSP3 (“Fragmentación”) está basado en los siguientes supuestos: alto crecimiento poblacional, bajo desarrollo económico, niveles inferiores de educación, sociedad regionalizada y con poca conciencia Ambiental. Por lo tanto, al SSP3 están asociados desafíos significativos para la adaptación y la mitigación.
- SSP4 (“Desigualdad”) supone que la tecnología avance en los países desarrollados, sin que toda la población logre beneficiarse, conllevando desafíos significativos para la adaptación.
- SSP5 asume una muy alta dependencia de los combustibles fósiles, así como bajo crecimiento de la población, elevado crecimiento económico y alto desarrollo humano, implicando desafíos significativos para la mitigación.



Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP, por sus siglas en inglés) del Sexto Informe de Evaluación (AR5, por sus siglas en inglés) del IPCC (IPCC, 2021).

Los datos del CMIP, tanto los del AR5 como los del AR6, son descargables sin restricciones, a través de las siguientes plataformas:

- <https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip5/>
- <https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6/>

En el 2021, en el ámbito del proyecto “Desarrollo de escenarios climáticos de precipitación, temperatura y ascenso del nivel del mar para los períodos 2020-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100”, ejecutado, bajo la dirección del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, por el consorcio constituido por el Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y El Caribe (CATHALAC) y Energeia Network, se llevó a cabo un análisis exhaustivo sobre los estudios realizados en la República Dominicana en tema de escenarios climáticos. El proyecto fue un componente de la iniciativa “Desarrollando capacidades para avanzar en el proceso del Plan Nacional de Adaptación”, ejecutada por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, mediante una implementación conjunta con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y financiamiento del Fondo Verde del Clima (FVC).

La investigación tuvo el objetivo de establecer una línea de base del trabajo ya realizado, identificando resultados y necesidades a cubrir, como base para la actualización de los escenarios para el país (CATHALAC & ENERGEIA, 2021).

Los logros más relevantes pueden resumirse según lo destacado a continuación (CATHALAC & ENERGEIA, 2021):

- Se identificó un total de 40 estudios, de los cuales más del 85% cuenta con acceso a informaciones detalladas en línea, aunque de manera dispersa.
- El número de los estudios sobre el tema muestra una tendencia creciente en el tiempo, con picos en los años que preceden la elaboración de las Comunicaciones Nacionales sobre el Cambio Climático;
- El 35% de los estudios tiene un enfoque general, mientras que a nivel sectorial se destacan 6 estudios relativos a los recursos hídricos, 4 sobre el sector agrícola, y 3 sobre el turismo.
- Respecto a los modelos, los más usados resultaron ser: MIROC5 (japonés), CNRM-CM5 (francés), GISS-E2-R (estadounidense), HadCM3 (estadounidense), HadGEM2-ES (estadounidense), MRI-CGCM3 (japonés), NorESM1-M (noruego).
- Los escenarios más aplicados para las proyecciones climáticas en el país son: el SRES-A2 y el SRES B1 (SRES del AR4), el RCP-8.5, el RCP-4.5, el RCP-2.6 (RCP del AR5), usados en informes nacionales, como las Comunicaciones Nacionales a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), como en estudios técnicos científicos sectoriales.
- Las proyecciones contenidas en los diferentes estudios identificados son coherentes en señalar un incremento generalizado de la temperatura del país, en todos los horizontes temporales, con valores que dependen del escenario climático analizado. Respecto a las precipitaciones, las proyecciones evidencian un comportamiento no uniforme en el territorio nacional, destacando un cambio en los patrones de lluvia que depende del área geográfica específica, confirmando los resultados obtenidos en estudios sobre tendencias históricas (Izzo et al., 2020). De todas maneras, todos los estudios disponibles destacan una tendencia general, especialmente en el largo plazo, a la reducción de las precipitaciones y un incremento generalizado de la aridez.

Una conclusión relevante del estudio es la baja resolución espacial de las proyecciones climáticas y, por ende, la especificidad reducida a escala local, debido prevalentemente al número limitado de series climáticas disponibles para el análisis.

En el ámbito del mismo proyecto, dicho estudio fue complementado con la actualización de los escenarios y las proyecciones climáticas para la República Dominicana (CATHALAC & ENERGEIA, 2022). Para estas, se trabajó con cinco modelos globales de circulación (GCM, por sus siglas en inglés) del Proyecto de Intercomparación de Modelos (CMIP5, por sus siglas en inglés), seleccionados por tener la mayor representación del clima en la zona tropical de América Latina. Las variables analizadas fueron precipitación, temperatura (media, mínima y máxima) y nivel del mar. Para cada una de estas variables, se produjeron mapas de proyecciones anuales y estacionales para cada una de las provincias del país, para diferentes horizontes temporales (2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100).

Las conclusiones principales del estudio señalan que:

- Bajo el escenario de “bajas emisiones” (RCP 2.6), el aumento de las temperaturas se proyecta entre 0.7 y 1.2°C, mientras que para el escenario de “muy altas emisiones” (RCP 8.5) la proyección de incremento se ubica entre 0.9 y 3.8°C para la temperatura máxima, entre 0.7 y 2.8°C para la temperatura mínima y entre 0.8 y 2.9°C para la temperatura media. A nivel regional, las áreas centro-occidentales muestran incrementos más contenidos.
- Respecto a las precipitaciones, en el corto plazo (2021-2040 y 2041-2060) y bajo los escenarios RCP 2.6 y 4.5, estas manifiestan una leve tendencia al incremento, inferior al 5%, respecto al período de referencia 1981-2005. En los demás escenarios y en el mediano y largo plazo (2061-2080 y 2081-2100), la tendencia para todo el territorio nacional es hacia una reducción de los aportes pluviométricos, superior al 10% (más del 20% para los escenarios de “altas emisiones” - RCP 6.0 y 8.5). Para final de siglo, se proyecta que la reducción de las precipitaciones en la región sur de la República Dominicana supere el 30% respecto al período de referencia.

Las proyecciones más actualizadas disponibles para la República Dominicana han sido elaboradas a partir del *downscaling* de los modelos del AR5.

Entre ellas se destacan los escenarios realizados en el ámbito de la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático (CNCCMDL & Ministerio Ambiente, 2018) y los elaborados en el ámbito del proyecto “Desarrollando capacidades para avanzar en el proceso del Plan Nacional de Adaptación”, citado anteriormente.

Los datos de ambos estudios, incluyendo los archivos en formato RASTER de las modelaciones, fueron compartidos respectivamente por el Consejo Nacional de Cambio Climático y Mecanismo de Desarrollo Limpio (CNCCMDL) y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, estando disponibles en los siguientes repositorios:

- [Datos de modelaciones para la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático](#)
- [Datos de modelaciones más actualizadas](#)

ANÁLISIS DE DÉFICIT de la red de medición existente

Estadística zonal multipropósito sobre información geoespacial de República Dominicana

Introducción

En ecología numérica y en biogeografía, se suele denominar “variables ambientales” o “variables de hábitat” a un conjunto de atributos del medio físico y biótico, usados como factores o “covariables” para explorar asociaciones comunidad-hábitat, esenciales en la producción de nuevo conocimiento sobre patrones de distribución de especies y comunidades (Maestre et al., 2008; Borcard et al., 2011; Wiegand & Moloney, 2013). Cubren, por lo tanto, múltiples aspectos, entre los cuales se destacan topografía, geomorfología, geología, climatología, población humana o densidad de carreteras, entre otros. Durante el siglo pasado, producir variables ambientales era costoso y lento, y su uso se limitaba a ámbitos geográficos muy concretos.

Actualmente, la información ambiental es global y diversa, y su uso en ecología por medio de herramientas de big data está en aumento de forma progresiva (Tuanmu & Jetz, 2015; Karger et al., 2017; Amatulli et al., 2020; Zanaga et al., 2022). Buena parte de esta información es generada, originalmente, por sensores a bordo de satélites de observación de la Tierra (por ej., reflectancia de la superficie del planeta por sensores pasivos o retrodispersión por sensores activos), pero su almacenamiento y posprocesamiento para generar productos derivados requieren de plataformas con capacidades que superan los recursos computacionales de las computadoras de mesa comunes.

Los catálogos de información global son producidos por grupos de investigación y académicos de diversos países (Yang et al., 2017; Amani et al., 2020; Zhao et al., 2021), alojados normalmente en repositorios gratuitos y puestos a disposición de la comunidad científica en diversas plataformas de computación en la nube (cloud computing) para su aprovechamiento.

Google Earth Engine (GEE), la plataforma geoespacial de cloud computing más popular actualmente, ofrece planes gratuitos de acceso a los datos y a sus recursos de hardware. Aunque con restricciones de almacenamiento y de recursos, GEE permite procesar grandes volúmenes de datos de forma eficiente. También se destacan Microsoft Planetary Computer y los entornos de cloud computing de Maxar y Planet, que ofrecen imágenes de satélite crudas y colecciones de superficies continuas de variables derivadas (por ej., imágenes ráster, stacks), las cuales requieren potentes recursos para su procesamiento en una base de referencia común que permita extraer patrones espaciales (Google, 2022; Maxar Technologies, 2022; Microsoft, 2022; Planet Labs PBC, 2022). Esta revolución, por una parte, ha impulsado el acceso a un nutrido catálogo de datos ambientales y, por otra, ha favorecido el desarrollo de nuevas líneas de estudio en ecología, permitiendo resolver problemas de investigación que en el pasado jamás se habría pensado poder resolver (Zhao et al., 2021).

En República Dominicana, buena parte de la información de ámbito nacional ha permanecido poco accesible al público y su aprovechamiento en el ámbito de la investigación es limitado. Otras barreras también subyacen en el libre acceso a la información pública dominicana, como lo es el requisito de motivar las razones de petición de datos (Congreso de la República Dominicana, 2004; Darbishire, 2006). A pesar de ello, a mediados de la década del 2010, existía evidencia de que, gracias al mayor acceso a la información pública, los reclamos de la población hacia sus autoridades se encontraban en aumento, señal esta

inequívoca de progreso (Skoufias et al., 2014).

Aunque se requieren evaluaciones específicas, en un análisis preliminar la producción de datos de escala nacional muestra metodologías no reproducibles y, en algunos casos, no declaradas. A esto se suma el hecho de que buena parte de la información que sí es accesible ha sido generada con referencia a unidades administrativas “al uso”, las cuales abarcan territorios heterogéneos. Otra dificultad asociada es el hecho de que diversos estudios produjeron mapas sin tener en cuenta potenciales usos posteriores, por lo que su reaprovechamiento requeriría un esfuerzo previo de depuración y normalización. Todo ello repercute sobre la producción de conocimiento científico de forma significativa, limitando las capacidades de análisis por carencia de fuentes de información sistemáticas.

El presente estudio pretende llenar el vacío de información sistemática y reaprovechable sobre el país, mediante la consolidación, con scripts reproducibles, de capas de datos ambientales abiertos, accesibles e indexados espacialmente. Específicamente, por medio de estadística zonal e indexación por celdas regulares, se calcularon promedios y otras estadísticas sobre variables que representan atributos topográficos, geomorfológicos, de uso y cobertura del suelo, climáticos, de heterogeneidad de hábitat, de carreteras y de población, entre otros.

El conjunto de mapas generados es una fuente de información significativa para este estudio y con gran potencial para su uso futuro en distintos ámbitos, como ecología numérica, biogeografía y otras áreas de la biología y la geografía. Asimismo, la metodología empleada tiene potencial de aplicación en estudios posteriores que requieran de datos sistemáticamente generados y accesibles.

Metodología

Se produjo información territorial usando estadística zonal (agrupamiento espacial o spatial binning) referida a celdas hexagonales de la biblioteca H3 (por ej., índice espacial) de República Dominicana, a resoluciones 4, 5, 6, 7 (Fischer & Getis, 2010; Bivand et al., 2013). Para este cometido, se desarrollaron scripts y funciones de Python y de R, con las cuales se aprovecharon tanto el catálogo de información como los recursos de computación en la nube (cloud computing) de Google Earth Engine (GEE). Adicionalmente, a título demostrativo, se desarrolló un enfoque de procesamiento más modesto, usando código informático y fuentes de información alojadas en PC local.

Los detalles metodológicos se encuentran en el Anexo 3.

Resultados

Como producto del trabajo realizado, se obtuvo una base de datos geoespaciales de 135 variables.

La figura siguiente muestra su distribución en el territorio de la República Dominicana.

Marco de referencia

Las estaciones hidrometeorológicas y climáticas (EHMC) son imprescindibles para la recopilación de datos precisos y actualizados sobre el clima y el tiempo atmosférico en una determinada región, así como sobre los niveles hidrométricos en ríos y arroyos.

Las aplicaciones de los datos recogidos por las EHMC trascienden el ámbito de la hidrometeorología y la climatología, pues su uso es bastante extendido en áreas de la ingeniería, la producción agraria, el urbanismo, la geografía, entre otros campos (WMO & IAHS, 1976; Marchi et al., 2019; Wilgen et al. 2016; Chung et al., 2018). Los datos proporcionados por estas estaciones ayudan a prever fenómenos meteorológicos extremos, como tormentas tropicales, huracanes, tornados y sequías, lo que permite a la población prepararse para responder adecuadamente. Asimismo, con estos datos se realizan múltiples estudios científicos sobre el clima y el cambio climático, lo que ayuda a comprender mejor la dinámica de la atmósfera y sus efectos sobre el planeta, contribuyendo en última instancia a informar y mejorar las estrategias de planificación, incluyendo la mitigación y la adaptación al cambio climático (WMO, 1996; 2017a; 2017b).

Una buena red de EHMC es esencial para la toma de decisiones informadas en una variedad de campos y es fundamental para el bienestar y la seguridad de las comunidades y del medio ambiente en general. En general, planificar una red adecuada de EHMC es fundamental para la gestión del territorio. Estudios previos, incluyendo algunos realizados en la República Dominicana, indican carencias de EHMC en áreas importantes, así como una distribución espacial no homogénea, lo cual podría afectar la precisión del dato recogido (Frei, 2003; PMA, 2019; Rojas Briceño et al., 2021; Theochari et al., 2021).

Varios países han evaluado el diseño de su red de estaciones, algunos incluso en múltiples ocasiones, y han propuesto mejoras que frecuentemente han sido implementadas satisfactoriamente (Frei, 2003). En algunos casos, disponen de protocolos para la selección de sitios, los cuales comúnmente son armonizados con estándares generales de la OMM, o amplían estos últimos para adaptarlos a las particularidades de su territorio y a los usos previstos (Rojas Briceño et al., 2021; Theochari et al., 2021).

La República Dominicana es altamente vulnerable a los impactos del cambio climático (Izzo et al., 2012; Izzo et al., 2013; ICMA, 2016a; 2016b; 2016c; 2016d), por lo que una red de EHMC insuficiente exacerba esta vulnerabilidad (Izzo et al., 2010; Roson 2013; Lohmann, 2016; Mackay & Spencer, 2017; Le, 2019; Lenderking et al., 2020).

Para mejorar y expandir la red de EHMC, se requiere inversión en tecnología e infraestructura, así como alianzas entre agencias gubernamentales, entidades privadas e instituciones de investigación (PMA, 2019). Sin embargo, el punto de partida para garantizar la optimización de las inversiones, es fundamental poder contar con un análisis detallado del estado de déficit de la red existente, basado en criterios técnicocientíficos ponderados, de manera que se puedan diseñar, evaluar y seleccionar alternativas costoefectivas.

Varias investigaciones consultadas concernientes al diseño de redes de estaciones climáticas, meteorológicas e hidrométricas coinciden en señalar que una de las metodologías más idóneas para el diseño de redes de estaciones se fundamenta en el análisis multicriterio (del inglés Multi-Criteria Analysis, MCA), específicamente la técnica de toma de decisiones basadas en múltiples criterio (del inglés Multi-Criteria Decision-Making, MCDM) (Thiriez & Zionts, 1975; Köksalan et al., 2011; Taherdoost & Madanchian,

2023).

La aplicación de esta familia de métodos en el ámbito de la planificación física y/o territorial se apoya en la colecta y análisis de atributos de terreno integrados por grandes volúmenes de datos geoespaciales, incluyendo, al mismo tiempo, criterios específicos del público meta, también espacializados en el territorio, empleando para ello Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Eastman et al., 1998; Malczewski, 2004; Chakhar & Mousseau 2008; Rojas Briceño et al., 2021; Tekleyohannes et al., 2021; Theochari et al., 2021).

Varias investigaciones han mostrado el buen rendimiento que aportan determinadas técnicas geoestadísticas tradicionales (Ali & Othman, 2018; Valipour et al., 2019), así como algoritmos contemporáneos de deep learning en combinación con técnicas tradicionales (Safavi et al., 2021), o incluso la entropía (Bertini et al., 2021). No obstante, las técnicas que combinan datos geoespaciales (por ej., SIG y teledetección) con MCA, en las cuales se ponderan de manera relativa los criterios geográficos, son herramientas fundamentales en la toma de decisiones, pues realizan de forma eficiente el análisis de variables muy diversas (Rojas Briceño et al., 2021).

El denominado “proceso analítico jerárquico”, mejor conocido como AHP (por sus siglas en inglés), es un método de selección de alternativas multicriterio que se fundamenta en la teoría general de los MCA, así como en la base de conocimientos de la jerarquía analítica. Es bien conocido por su facilidad de uso y porque ayuda a comprender mejor los atributos analizados (Rojas Briceño et al., 2021). Fue desarrollado por Thomas Saaty en la década del 1970 (Saaty, 1977), con varias revisiones posteriores (Saaty, 2001; Saaty & Tran, 2007), y se utiliza para tomar decisiones cuando se deben considerar múltiples criterios y alternativas. Tradicionalmente, el método AHP se ha utilizado en investigaciones en el ámbito de las ingenierías, las ciencias sociales, económicas y empresariales, e igualmente en la toma de decisiones donde intervienen datos geoespaciales (Podvezko, 2009; Subramanian & Ramanathan, 2012; Saaty, 2013; Breaz et al., 2017; Darko et al., 2019). Recientemente, fue usado de forma eficiente en la selección de sitios prioritarios para la instalación de estaciones meteorológicas en Perú (Rojas Briceño et al., 2021).

El método AHP consiste en descomponer un problema complejo en una estructura jerárquica de criterios y subcriterios, para luego comparar distintas alternativas en función de cada uno de ellos. El proceso se realiza en varias etapas, que incluyen:

1. Identificar los objetivos y criterios relevantes para el problema;
2. Crear una estructura jerárquica de los criterios y subcriterios;
3. Comparar los criterios y subcriterios mediante una matriz de comparación en parejas (paso clave);
4. Calcular los valores de prioridad de cada criterio (paso clave);
5. Comparar las alternativas;
6. Calcular los valores de prioridad de cada alternativa en función de cada criterio;
7. Calcular los valores totales de prioridad de cada alternativa.

El método AHP es ampliamente utilizado en la toma de decisiones y en la planificación estratégica, ya que permite elegir entre varias opciones considerando valoraciones de criterios, y porque tiene en cuenta la importancia relativa de los criterios elegidos. Esta importancia relativa se asigna, normalmente, por medio de consultas hechas a personas con experiencia en el área de conocimiento donde se enmarque el

problema en cuestión.

En este estudio, se aplica AHP para seleccionar sitios prioritarios en los cuales instalar estaciones hidrometeorológicas en el territorio de la República Dominicana, garantizando el respeto de criterios de: evitación de redundancia de información; eficiencia en el uso de recursos; efectividad de la red. Para ellos se aprovecharon tanto fuentes de información geoespacial sistemáticamente producidas, como consultas a personas expertas en temas hidrometeorológicos y climáticos.

Metodología

Se aplicó una secuencia de tres técnicas interdependientes para formular distintas alternativas de redes de observación meteorológica, centrándose en la selección multicriterio de sitios prioritarios.

En primer lugar, se aplicó un proceso analítico jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) para seleccionar la mejor opción entre diferentes alternativas, utilizando criterios de selección ponderados por personas consultadas con conocimiento del problema (Saaty, 2013).

Los criterios seleccionados fueron:

1. Distancia a accesos
2. Estacionalidad térmica
3. Estacionalidad pluviométrica
4. Heterogeneidad de habitat
5. Distancia a cuerpos de agua
6. Pendiente
7. Horas de insolación
8. Elevación

Dichos criterios fueron elegidos por su relevancia, según estudios previos y recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (WMO & IAHS, 1976; Rojas Briceno, 2021), así como conocimiento propio de la problemática.

Se aplicó una secuencia de tres técnicas interdependientes para formular distintas alternativas de redes de observación meteorológica, centrándose en la selección multicriterio de sitios prioritarios.

En primer lugar, se aplicó un proceso analítico jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) para seleccionar la mejor opción entre diferentes alternativas, utilizando criterios de selección ponderados por personas expertas consultadas (Saaty, 2013). Las consultas fueron solicitadas de forma explícita a quienes respondieron a las preguntas mediante formularios electrónicos. Tras las consultas, las respuestas obtenidas fueron organizadas y recodificadas y, posteriormente, se evaluó su consistencia. Posteriormente, se seleccionaron las respuestas consistentes para establecer la ponderación de criterios. Finalmente, la ponderación definida fue aplicada a las fuentes de información geográfica disponibles, que en el caso específico fueron cerca de 13,000 hexágonos con la información multicriterio correspondiente, repartidos

sobre el territorio dominicano.

A partir de esta ponderación, a cada hexágono se asignó una de las siguientes categorías agregadas: imprescindible, prioritario, moderadamente prioritario, y marginalmente prioritario.

Tanto el diseño de los formularios, como el procesamiento de respuestas y la ponderación de criterios, fueron realizados empleando lenguajes de programación. Para diseñar los formularios, se usaron paquetes y funciones de Python, mientras que para los análisis se aprovecharon el paquete *ahpsurvey* y otros del entorno de programación estadística R, diseñado para tales fines (Cho, 2019; Wickham et al., 2019; R Core Team, 2021). Los detalles del procedimiento seguido se encuentran en la sección de información suplementaria en Anexo 4.

Los resultados obtenidos del AHP fueron usados como entrada de un procesamiento posterior, en el cual se aplicó una exclusión por factores limitantes. Específicamente, se eliminaron los hexágonos que, por su localización respecto al accesos y los cuerpos de agua, constituían áreas no idóneas para el establecimiento de EHMC.

Finalmente, al resultado del procedimiento anterior fue aplicado un análisis de vecindad entre estaciones (existentes y propuestas), con el objetivo de garantizar homogeneidad espacial y evitar redundancia. Para tales fines, primero, usando funciones programadas en R, se lanzaron nubes de puntos sobre distintas categorías de idoneidad (por ej., “imprescindible”), con lo cual se garantizó el cumplimiento de criterios de densidad de estaciones sugeridos por la Organización Meteorológica Mundial (WMO & IAHS, 1976; WMO, 2020). Finalmente, usando superficies continuas de distancia (por ej., rásters), se eliminaron estaciones propuestas que estuviesen muy próximas a estaciones existentes, evitando así proponer la instalación en sitios que generarían redundancia en la red. Los detalles metodológicos pueden ser consultados en el Anexo3.

Ponderación agregada para cada criterio.

Variable	Preferencias agregadas	Desviación estándar
estacionalidad pluviométrica	0.27	0.04
horas de insolación	0.18	0.11
estacionalidad térmica	0.17	0.08
elevación	0.12	0.05
heterogeneidad de hábitat	0.09	0.05
distancia a accesos	0.07	0.03
distancia a cuerpos de agua	0.06	0.03
pendiente	0.04	0.02

Resultados para la red de Estaciones Meteorológicas (EMC)

Proceso analítico jerárquico (AHP) y reclasificación de fuentes cartográficas

De los ocho criterios elegidos a priori para valoración por personas expertas, los cuatro que recibieron la mayor ponderación agregada, en orden descendente, fueron:

1. Estacionalidad pluviométrica
2. Horas de insolación
3. Estacionalidad térmica
4. Elevación.

La importancia de cada criterio, incluyendo su desviación estándar, puede consultarse la tabla anterior.

Las puntuaciones reclasificadas de cada criterio mostraron una amplia variabilidad de la superficie ocupada por cada categoría (ver la tabla siguiente). De los criterios ponderados con un alto peso dentro de la valoración AHP, las estacionalidades pluviométrica y térmica presentaron proporciones relativamente equilibradas del territorio según las cuatro clases de idoneidad. Por otra parte, el criterio “horas de insolación” mostró una importante acumulación de áreas prioritarias (“imprescindibles” e “prioritarias”) para el establecimiento de estaciones. Igualmente, el criterio elevación resultó predominantemente “prioritario” y “imprescindible”. Esto se debió a que los sistemas montañosos dominicanos presentan las menores densidades de estaciones meteorológicas, por lo que se prefirió impulsar la idoneidad de la topografía elevada para el establecimiento de EMC.

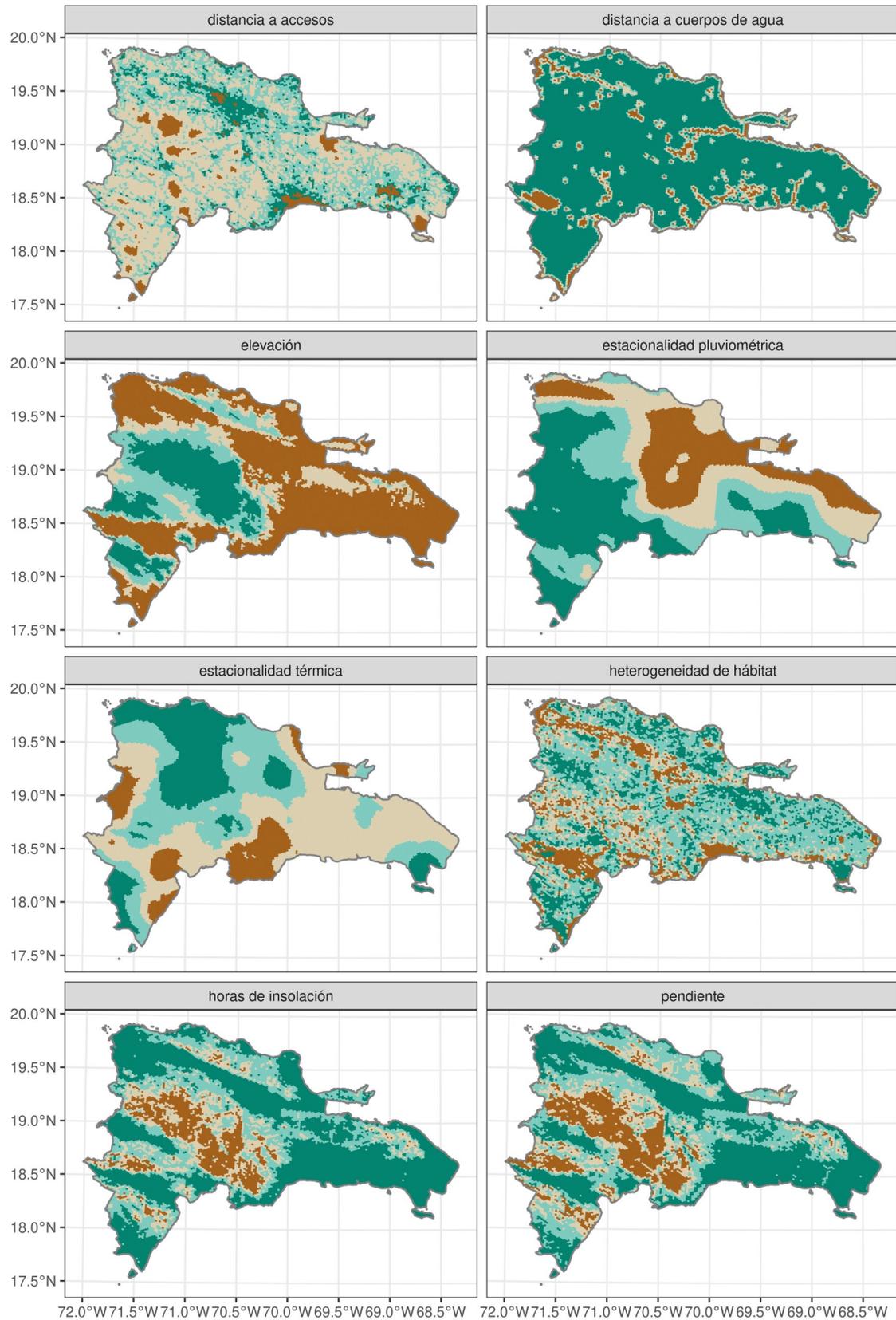
En términos de distribución espacial, el patrón más común fue el de tipo concentrado (ver la figura en la página siguiente). Todos los criterios presentaron autocorrelación espacial positiva, lo que significa que los hexágonos se aglomeran en cúmulos de valores grandes (“grupos” de hexágonos prioritarios, formando hotspots) y/o pequeños (cúmulos de hexágonos marginalmente prioritarios, formando coldspots). Se destaca la distribución espacial particular de la “distancia a cuerpos de agua”, con un patrón muy homogéneo y monótono de hexágonos de alta idoneidad.

Tras sumar los criterios ponderados, se obtuvo la distribución de las categorías agregadas. En cuanto a superficie representada, predominaron las categorías intermedias, “moderadamente prioritario” e “prioritario” con un 70% de toda la superficie estudiada, mientras que las categorías extremas “marginalmente prioritario” e “imprescindible” se repartieron el restante 30% (ver tabla siguiente).

criterio	altamente idóneo	idóneo	moderadamente idóneo	marginalmente idóneo	Total
distancia a accesos	11.54	33.77	48.85	5.84	100
estacionalidad térmica	22.17	28.11	38.39	11.33	100
estacionalidad pluviométrica	33.90	22.95	21.67	21.47	100
heterogeneidad de hábitat	19.88	43.74	20.16	16.22	100
distancia a cuerpos de agua	75.04	8.04	8.72	8.20	100
pendiente	39.60	28.86	16.92	14.63	100
horas de insolación	48.23	25.06	16.03	10.68	100
elevación	17.05	16.03	16.53	50.39	100

Porcentaje de áreas por criterio de selección de sitios de estaciones meteorológicas.

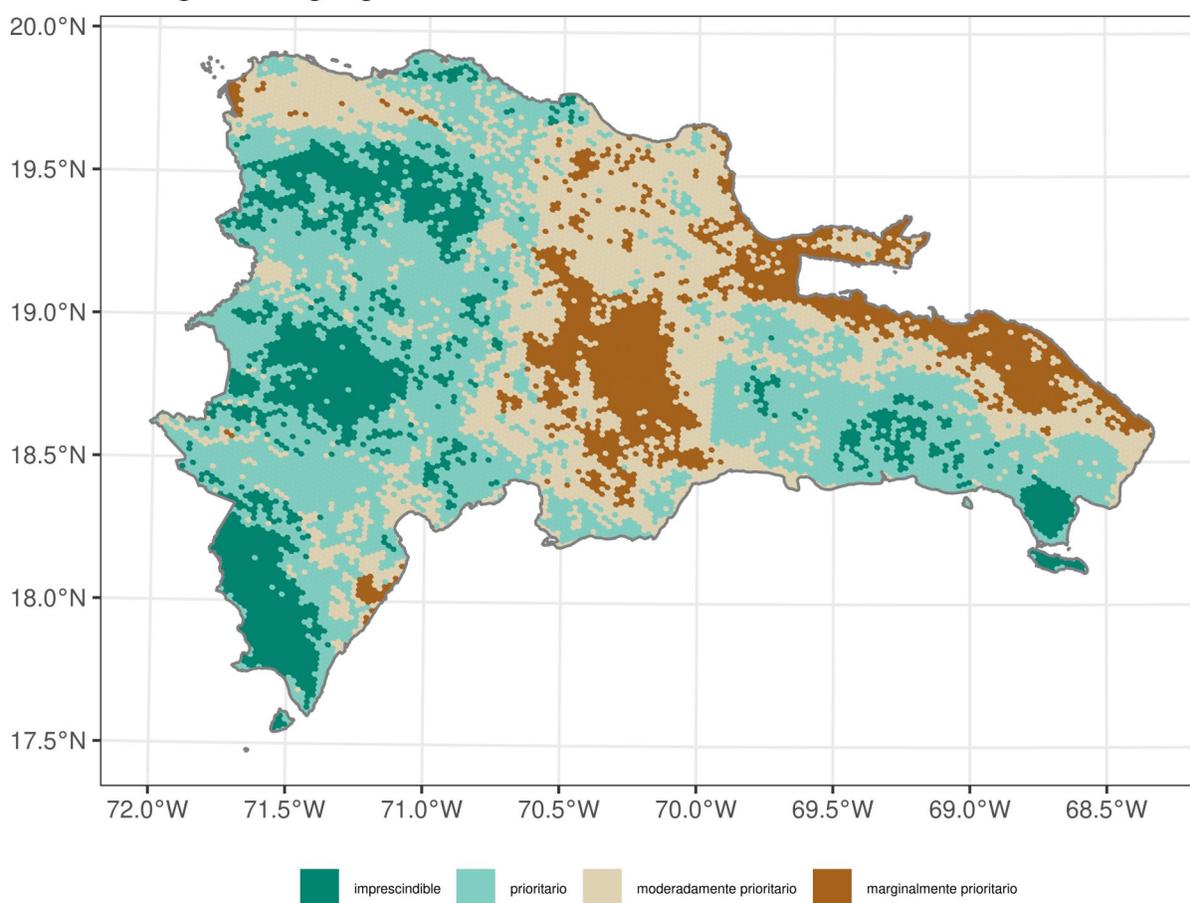
Reclasificación de valores de criterios



Mapas de puntuaciones reclasificadas de cada criterio.

Las categorías agregadas (ver tabla siguiente) aparecen bien repartidas espacialmente en el territorio dominicano (ver figura siguiente). En particular, la representación espacial sugiere que el método AHP priorizó aquellas áreas que, por sus atributos, se interesa impulsar en primera instancia. Las áreas con gran estacionalidad, especialmente las montañas y el borde oriental del país, que al mismo tiempo mostraron buen rendimiento en cuanto a horas de insolación, resultaron ser las más prioritarias para el establecimiento de nuevas EMC. Por otra parte, los sectores situados a menor elevación, que al mismo tiempo cuentan con pocas horas de insolación, fuertes pendientes y bajas estacionalidades térmica y pluviométrica, fueron

Categorías agregadas



Mapas de categorías agregadas.

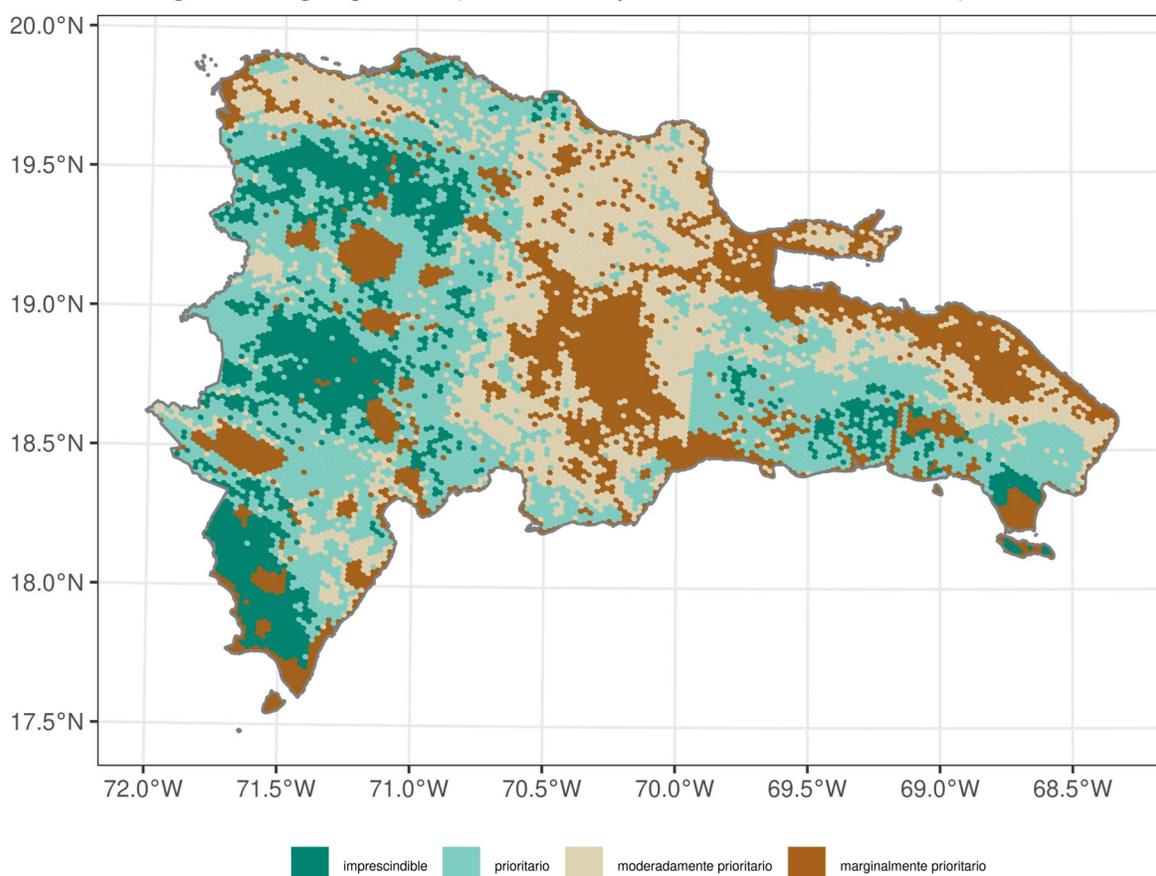
Categoría agregada	proporción
imprescindible	15.77
prioritario	39.62
moderadamente prioritario	30.81
marginalmente prioritario	13.79

Porcentaje de áreas de categorías agregadas para la selección de sitios de estaciones meteorológicas.

Exclusión por factores limitantes

Un total de 1,508 hexágonos fueron imputados como marginalmente prioritarios por su proximidad a cuerpos de agua o por encontrarse dentro de áreas pobladas o muy distantes en términos de accesibilidad. La mayoría de ellos se localizó en los lagos y lagunas interiores y costeras, en áreas próximas a la costa, en ríos anchos y embalses, y en áreas montañosas inaccesibles. El mapa de la figura siguiente muestra la nueva distribución de las categorías agregadas (compárese con el mapa anterior). Asimismo, la tabla a

Categorías agregadas (exclusión por factores limitantes)



Mapa de categorías agregadas (exclusión por factores limitantes).

Categoría agregada	proporción
imprescindible	15.77
prioritario	39.62
moderadamente prioritario	30.81
marginalmente prioritario	13.79

Áreas proporcionales de categorías agregadas para la selección de sitios de estaciones meteorológicas con exclusión por factores limitantes .

Resultados para la red de Estaciones Hidrométricas (EH)

Notas metodológicas

A pesar de la importancia que los datos hidrométricos tienen en el diseño e implementación de políticas efectivas de gestión de los recursos hídricos, actualmente la red de estaciones hidrométricas en funcionamiento en la República Dominicana es limitada y enfrenta diversos desafíos (Burn, 1997; Mishra & Coulibaly, 2009; Mishra & Coulibaly, 2010; INDRHI, 2019). La distribución de estas estaciones es poco uniforme y las que se encuentran en funcionamiento están amenazadas por problemas de mantenimiento y reposición, debido a los presupuestos insuficientes asignados para este propósito, así como a la falta de personal técnico estable (INDRHI, 2019).

En el año 2019 solo 30 de un total de 170 estaciones hidrométricas inventariadas se encontraban en funcionamiento (INDRHI, 2019). Se desconoce el estado actual de la red, pero a la fecha de elaboración de este informe, el personal técnico del INDRHI indicó que algunas estaciones podrían haber salido del sistema por problemas de nombramiento de personal y mantenimiento. Por lo tanto, es esencial expandir esta red para mejorar la representatividad y la precisión de los datos hidrométricos, lo que constituye una prioridad crítica.

La selección de sitios adecuados para la instalación de estaciones hidrométricas es crucial para la obtención de datos precisos y representativos (Mishra & Coulibaly, 2009). Se deben considerar varios criterios relevantes, como la heterogeneidad climática y la topográfica de la región, ya que estas variables influyen en la distribución de las precipitaciones y, por extensión, en la escorrentía dentro de la cuenca (WMO & IAHS, 1976). Además, la accesibilidad del sitio es fundamental para garantizar que el mantenimiento y la operación de las estaciones pueda ser llevado a cabo de manera eficiente (Rojas Briceño et al., 2021).

Los criterios arriba mencionados fueron usados por el equipo de investigación del proyecto para proponer una red de estaciones meteorológicas y, a la vez, fueron aplicados, con algunas modificaciones descritas a continuación, para diseñar la red de estaciones hidrométricas. En efecto, a diferencias de las EMC, para las cuales debe aplicarse el criterio de exclusión para los sitios ocupados por cuerpos de agua, las estaciones hidrométricas deben colocarse sobre corrientes fluviales donde midan los caudales de agua. Por lo tanto, es necesario contar con información geográfica precisa y densa sobre la red hidrográfica dominicana.

A la vez, los sitios de medición deben cumplir otros criterios adicionales (Rantz, 1982a; 1982b):

1. El tramo de corriente o curso fluvial (río, arroyo, cañada) elegido debe ser recto durante unos 100 metros corriente arriba y corriente abajo del sitio de medición.
2. En todos los niveles, el flujo total debe estar en una única corriente, sin flujo subterráneo que evite el sitio de interés.
3. El lecho del curso fluvial y sus márgenes no deben sufrir erosión ni sedimentación y deben estar libres de plantas acuáticas (sección estable).
4. Las orillas de la corriente fluvial deben ser permanentes, sin matorrales, y lo suficientemente altas como para contener inundaciones.
5. Preferiblemente, el curso debe tener controles naturales invariables (sección estable): son

preferidos los lugares con afloramientos de sustrato y con rápidos estables para condiciones de flujo bajo, así como los estrechamientos del canal o una cascada o caída que no esté sumergida en momentos de flujo alto. Cuando estas condiciones no se pueden conseguir en el sitio elegido, entonces es necesaria la realización de una obra, como por ejemplo un vertedero. Sin embargo, no en todos los ríos es posible realizar esta obra, sobre todo si se trata de ríos muy anchos, por lo que se recurre a métodos alternos de medición de velocidades y estimación de área de la sección (área elemental).

6. En niveles extremadamente bajos, debe existir escorrentía o pozas aunque sólo sea aguas arriba, lo cual permite la continuidad de medición y evita altas velocidades en momentos de restablecimiento del caudal.
7. El sitio candidato debe estar lo suficientemente alejado de confluencias y de los efectos de las mareas para evitar impactos indeseados en la medición.
8. Debe haber un tramo disponible para medir el caudal en todos los niveles cerca del sitio de medición.
9. El sitio debe ser accesible para instalar, operar y mantener el lugar de medición, siendo su elección un compromiso entre estos criterios.

Para obtener algunos de estos criterios, es necesario compilar datos hidrológicos, geológicos y topográficos a nivel nacional. En principio, y reduciendo el análisis de selección de sitios a fuentes geoespaciales disponibles o derivables, se deben identificar tramos de cursos fluviales que cumplan con las siguientes características (Rantz, 1982a; 1982b):

1. Alineación recta;
2. Rocas consolidadas expuestas (en contraposición a los sedimentos aluviales);
3. Márgenes sujetas a desbordamiento;
4. Márgenes pronunciadas para garantizar el confinamiento del flujo;
5. Canales divididos;
6. Posible impacto de fenómenos/estructuras aguas arriba que induzcan variabilidad. Estos efectos pueden ser causados por afluentes, confluencias o embalses;
7. Viabilidad de instalar medidores de flujo.

Los criterios anteriores pueden derivarse a partir de una red hidrográfica del país precisa y densa, la cual esté acompañada de datos complementarios que puedan manejarse de forma integrada por medio de un sistema de información geográfica. Sin embargo, las fuentes de información geográfica sobre la hidrografía dominicana disponibles al público no cuentan con la resolución espacial requerida suficiente para generar capas informativas que respondan a todos los criterios descritos arriba.

Existen al menos dos fuentes de información geográfica sobre la red hidrográfica dominicana. La primera es la red digitalizada a partir del mapa topográfico nacional escala 1:50,000 (“MTN-50k”) (ICM, 1989). La red del MTN-50K, aunque bastante exhaustiva, es realmente una red parcial y no proporciona las características morfométricas de las corrientes fluviales (por ej., la jerarquía). Además no es lo suficientemente precisa para ser utilizada por sí sola en análisis morfométricos. No obstante, dicha red puede servir de insumo para

algoritmos semiautomáticos de extracción de drenajes (por ej., el tallado de la red).

La segunda fuente sobre la hidrografía dominicana es un conjunto de documentos técnicos y multitemáticos, tanto de ámbito nacional (OEA & INDRHI, 1994; INDRHI, 1996; 2012; INDRHI & AQUATER, 2000; INDRHI & EPTISA, 2000; SEMARENA, 2004; Rodríguez & Febrillet, 2006) como de cuencas seleccionadas (CIDIAT & INDRHI, 1992; Halcrow-COR Ing. S.A., 2002; SERCITEC & INDRHI, 2002), realizados por personal del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI). Sin embargo, cada uno fue generado a través de métodos distintos, no permitiendo la consolidación de una hidrografía consistente a escala nacional. Cabe destacar que se están dando pasos en esa dirección actualmente, tras el inicio de los trabajos de actualización del Plan Hidrológico Nacional, pero se trata de una iniciativa en curso al momento de realizarse esta investigación.

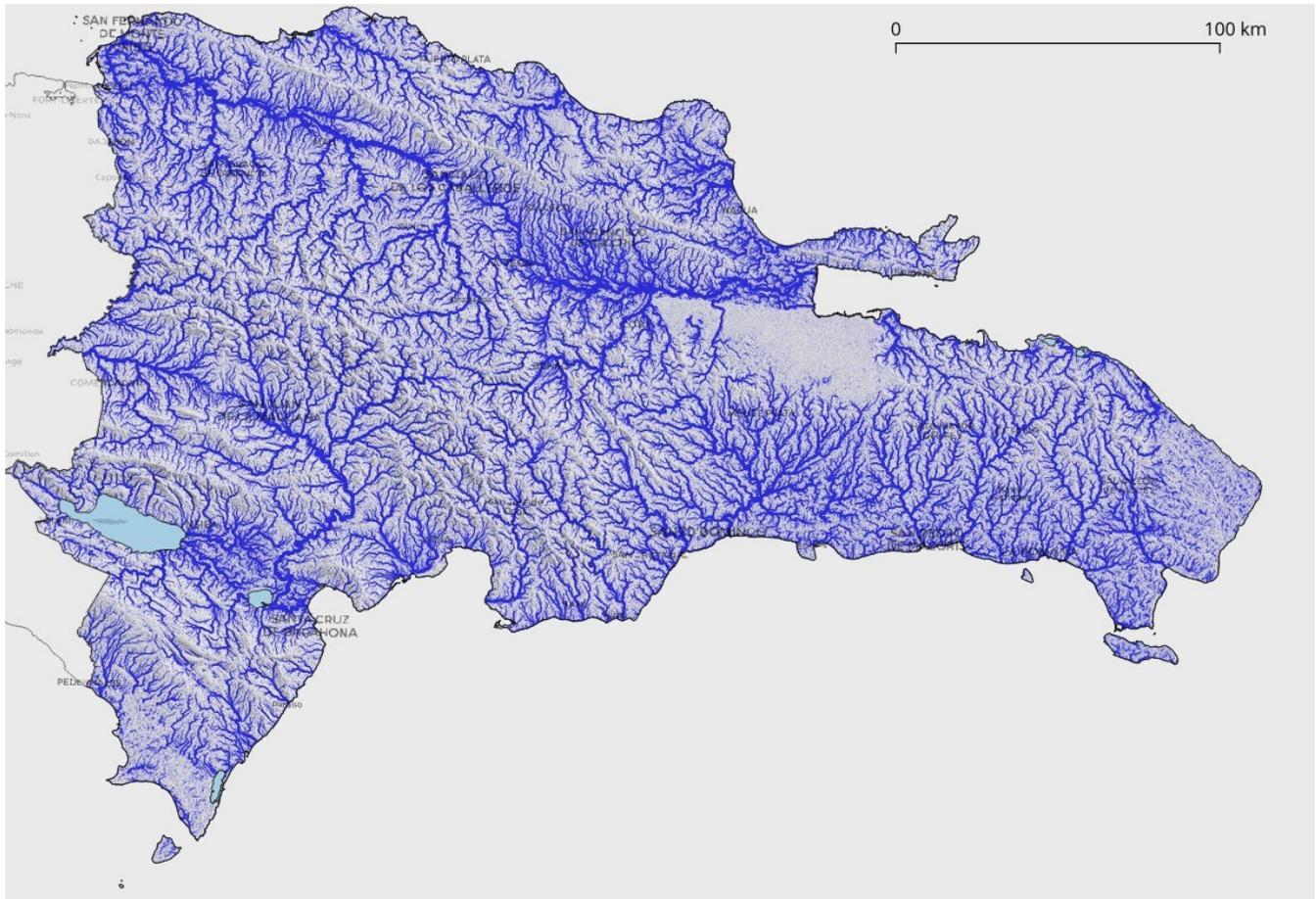
Por lo tanto, para hacer frente a esta carencia de informaciones indispensables para poder hacer el análisis de déficit de la red de medición hidrométrica del país, el primer paso fue la generación de una red densa y robusta de ríos, arroyos y cañadas (en la terminología geomorfológica, talweg o línea que une puntos de elevaciones mínimas en vaguadas), que combine las fuentes abiertas más precisas disponibles a la fecha, con miras a seleccionar sitios idóneos para la instalación de estaciones hidrométricas. En concreto, y para este cometido, se optó por generar la red a partir del modelo digital de elevaciones de mayor resolución espacial disponible al público en la actualidad, usando métodos semiautomáticos implementados en software de código abierto, y apoyándose en fuentes preexistentes, como el mapa topográfico nacional y el mapa geológico, entre otros.

Como segundo objetivo se trabajó para la selección de sitios idóneos para la instalación de estaciones hidrométricas, exclusivamente para corrientes fluviales, excluyendo mediciones de pozos, lagos, canales de riego, embalses y otros cuerpos de agua distintos a ríos, arroyos y cañadas. Para esta labor, y como parte del diseño de la investigación, se aprovecharon las unidades hexagonales ya elegidas previamente en el estudio complementario a este, donde se propuso aumentar la densidad de la red estaciones meteorológicas (ver los capítulos anteriores).

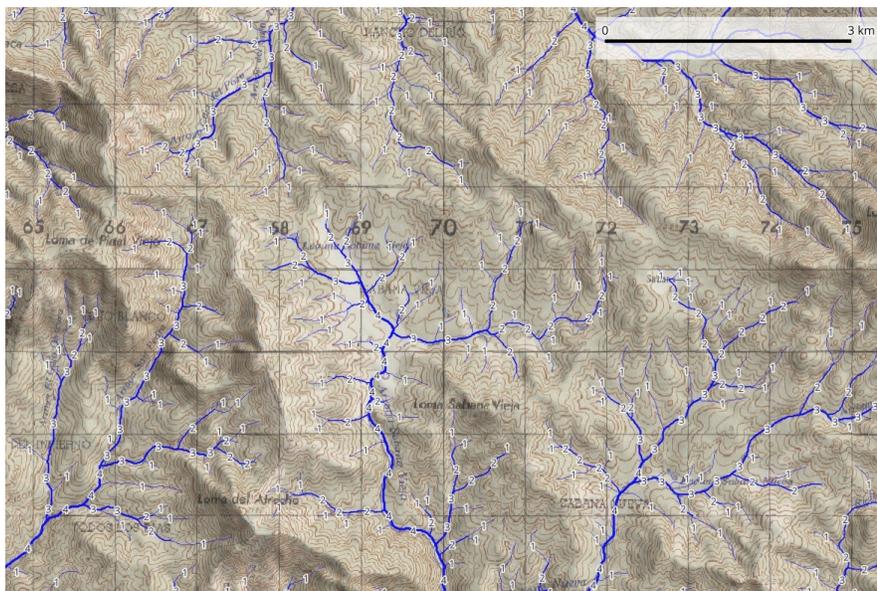
En el Anexo 4 de este documento se encuentran los detalles de la metodología utilizada, así como el enlace al repositorio de los datos producidos.

En las figuras a continuación se presentan los mapas con el detalle de la hidrografía elaborada, incluyendo la clasificación de los órdenes fluviales.





Mapa de la red hidrográfrica de la República Dominicana usada en el estudio.

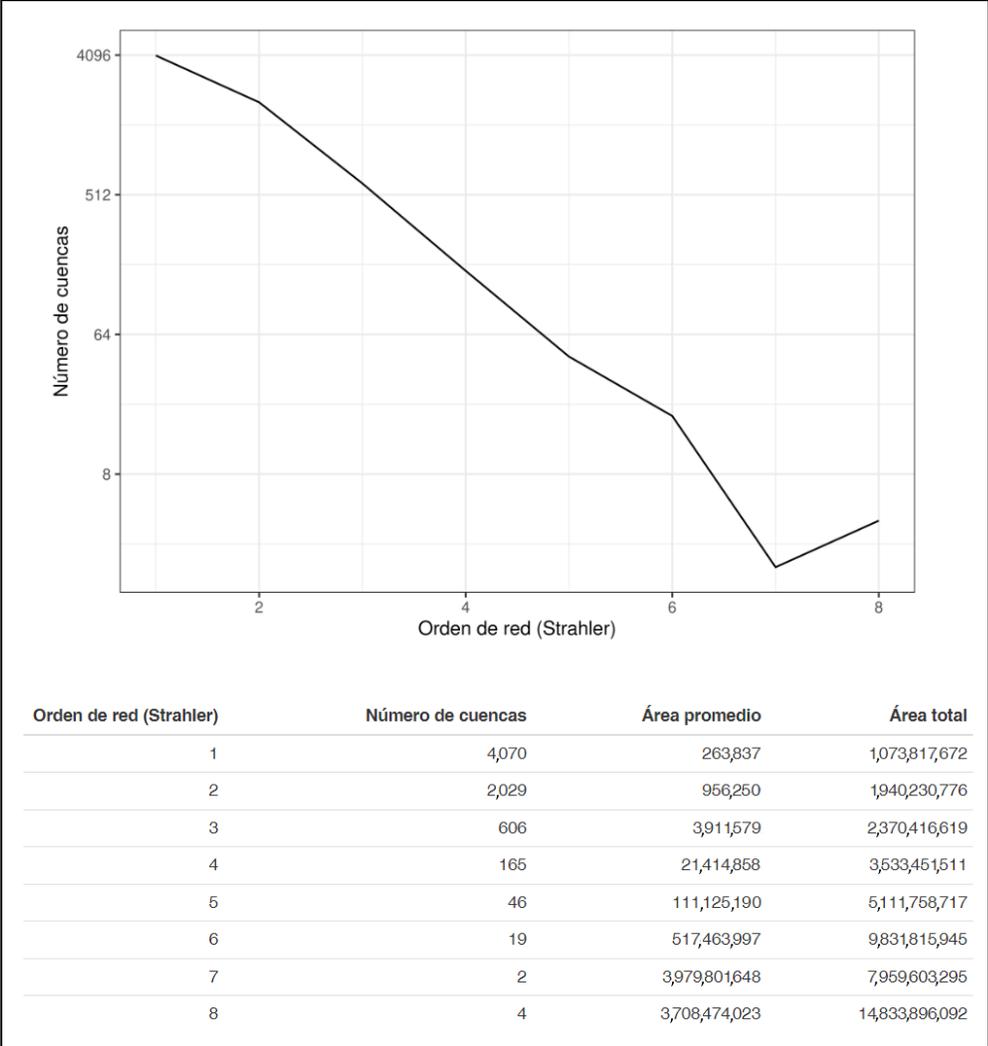


Clasificación de los órdenes fluviales.

A partir del resultado anterior, se procedió a la perimetración de las cuencas y subcuencas según su orden de red máximo. Al utilizar el criterio orden de red, las unidades delimitadas con el procedimiento elegido, cuyos detalles se encuentran en el Anexo 4, incluyen cuencas y subcuencas, por lo cual la mayoría contiene redes de drenaje tributarias de otro río (ríos que desembocan en otros ríos).

En base al mismo procedimiento se delimitaron también las cuencas con drenaje final, o sea las cuencas completas, cuya red desemboca en el mar (exorreicas), o en lagos, lagunas y pérdidas del karst (endorreicas), excluyendo las subcuencas (red que desemboca en otro río).

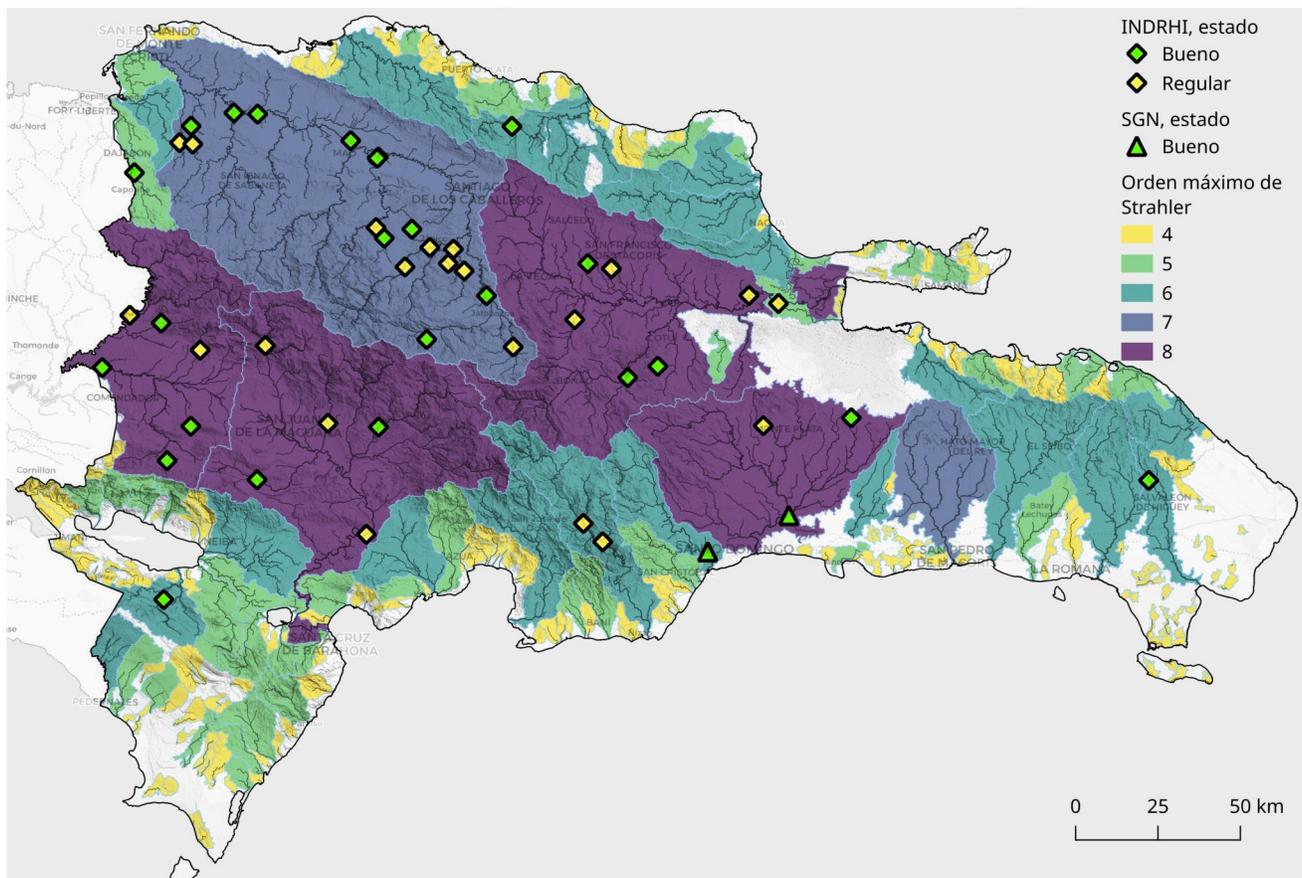
Los datos evidencian que, con la resolución usada para la extracción de la red hidrográfica (12 m), se identifica un total de 6,941 cuencas hidrográficas y unos 138,000 kilómetros de desarrollo fluvial en la República Dominicana. La figura a continuación muestra el número de cuencas en función del orden de Strahler.



Número de cuencas en función de su orden fluvial (Strahler), con indicación del área promedio y total (en m²) respectivamente.

Sucesivamente, se procedió a representar el mapa de las estaciones hidrométricas existentes sobre las cuencas categorizadas en función del orden de red máximo encontrado en ellas. Dicha sobreposición permite identificar a primera vista que **la cobertura de la red de estaciones hidrométricas es muy baja** y que, a priori, **existe un déficit importante de puntos de medición en la mayoría de las cuencas de orden 5 y superiores**, con una marcada concentración de las estaciones existentes en cuencas con presas. Aún reconociendo que el establecimiento de estaciones hidrométricas asociadas a las presas es una labor de rutina y necesaria, cabe destacar el desbalance significativo entre cuencas instrumentadas y no instrumentadas, lo cual, en última instancia, contribuye al sesgo actualmente existente en el dato hidrométrico.

El mapa a continuación muestra la ubicación de las estaciones del Servicio Geológico Nacional y del INDRHI en función de su estado, “Bueno” y “Regular” (INDRHI, 2019) y su distribución respecto a las cuencas hidrográficas, diferenciadas por orden fluvial (según Strahler). Es importante notar el marcado déficit de estaciones en gran parte del territorio nacional.



Ubicación de las estaciones hidrométricas de INDRHI y SGN respecto a las cuencas de orden 4 o superior de República Dominicana, extraídas a partir de una red de drenaje creada usando 540 celdas (aprox. 8 ha) como umbral de acumulación del DEM ALOS PALSAR.

Resultados para la red de Estaciones Hidrométricas

Las redes de drenaje y las cuencas hidrográficas generadas según lo descrito en el capítulo anterior fueron la base de información primordial y objetivo principal del estudio, punto de partida para, primero, definir el área de interés u objetivo, constituida por los cauces, y, segundo, seleccionar sitios prioritarios para establecer estaciones hidrométricas, según lo descrito a continuación.

Notas metodológicas

Con la red disponible, y generando algunas variables adicionales, se estaba en la capacidad de aplicar algoritmos de reclasificación de variables y álgebra de mapas para producir una lista de sitios que cumplieran con criterios preestablecidos. Sin embargo, esta aproximación no puede considerarse adecuada, puesto que ignoraría los resultados obtenidos para la red meteorológica y presentados anteriormente en este documento. Por esta razón, se optó por un esquema de codiseño flexible, de manera que la propuesta de sitios prioritarios para el establecimiento de estaciones hidrométricas aprovechara la red de estaciones meteorológicas, garantizando beneficios significativos.

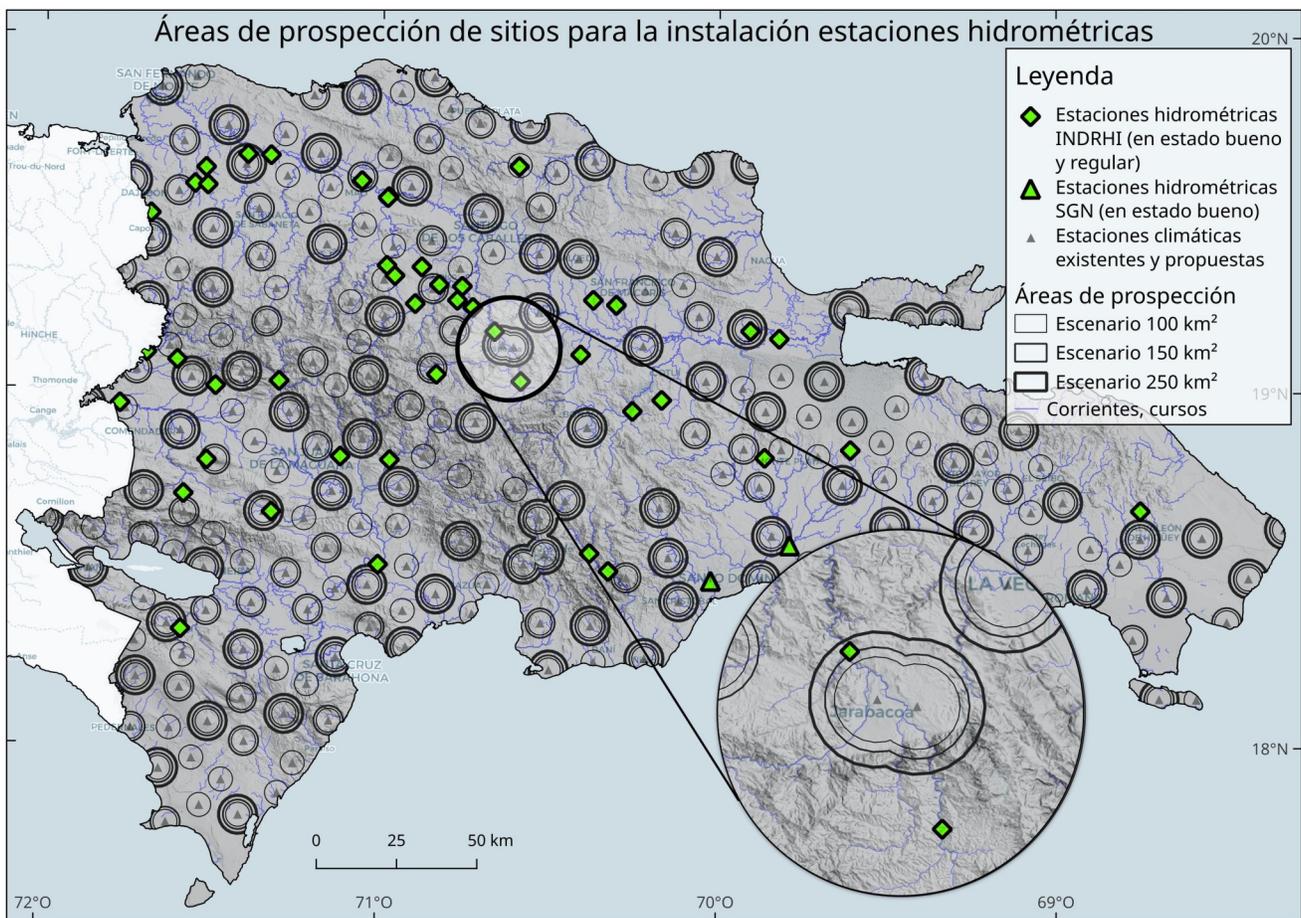
En primer lugar, la estrategia de codiseño redujo significativamente el tiempo de cómputo de variables territoriales. En segundo lugar, al proponer la colocación de ambos tipos de estaciones en un mismo contexto, se está impulsando la co-observación del dato meteorológico e hidrométrico. En tercer lugar, las áreas priorizadas cumplen con una serie de criterios que son comunes a la selección de sitios prioritarios para estaciones hidrométricas, como son la estacionalidad pluviométrica y la distancia a accesos. Finalmente, al reaprovechar la localización de estaciones meteorológicas, se aprovecharon los escenarios de densidad de estaciones (una estación para “x” km²), apegándose a los estándares propuestos por la OMM. Los escenarios de densidad son una oportuna herramienta de planificación, pues, cuando son bien usados, evitan la redundancia en la red, ofrecen varias alternativas de presupuesto de inversión y facilitan el despliegue de medios de forma escalonada.

A pesar de las múltiples ventajas señaladas, existen algunas desventajas que se considera oportuno mencionar. En primer lugar, una corriente fluvial no necesariamente tiene su mejor lugar de medición en torno a un sitio preestablecido. Por esta razón, se considera que, en la fase de implementación, primen sensatez y flexibilidad en aplicar críticamente y de manera adaptada al territorio los resultados de este estudio. En efecto, cabe señalar que las bases de datos geoespaciales y los algoritmos sólo dan una idea preliminar de lo que ocurre en el territorio: para tomar la decisión final es necesario una adaptación de la herramienta a las condiciones encontradas en el terreno. Otra desventaja del codiseño es el riesgo de subestimar los costos de operación y mantenimiento de las estaciones hidrométricas, pues estas son más complejas y sufren más incidencias que las meteorológicas.

Para materializar el codiseño de las redes, nos apoyamos en lo que denominamos como áreas de prospección para el establecimiento de estaciones hidrométricas o AP. Definimos el AP como un polígono imaginario que rodea a una estación meteorológica existente o propuesta—sin exceder su área de representación—, creado con el objetivo de evaluar, de manera flexible, la idoneidad de instalar una estación hidrométrica. La identificación del sitio idóneo se realiza aplicando criterios de idoneidad, los cuales a su vez se obtienen reclasificando información territorial y aplicando álgebra de mapas.

Para materializar el codiseño de las redes, se usaron las áreas de prospección para el establecimiento de estaciones hidrométricas. Las áreas de prospección son definidas como un polígono imaginario que rodea a una estación meteorológica existente o propuesta (sin exceder su área de representación), creado con el objetivo de evaluar, de manera flexible, la idoneidad de instalar una estación hidrométrica. La identificación del sitio idóneo se realiza aplicando criterios de idoneidad, los cuales a su vez se obtienen reclasificando información territorial y aplicando álgebra de mapas (ver detalles en Anexo 4).

Dentro de las áreas de prospección, los diferentes criterios que se aplicaron a la selección de sitios para el establecimiento de estaciones hidrométricas. Con este paso crucial se consiguió mejorar el tiempo de cómputo en la generación de las variables de entrada para seleccionar sitios prioritarios.

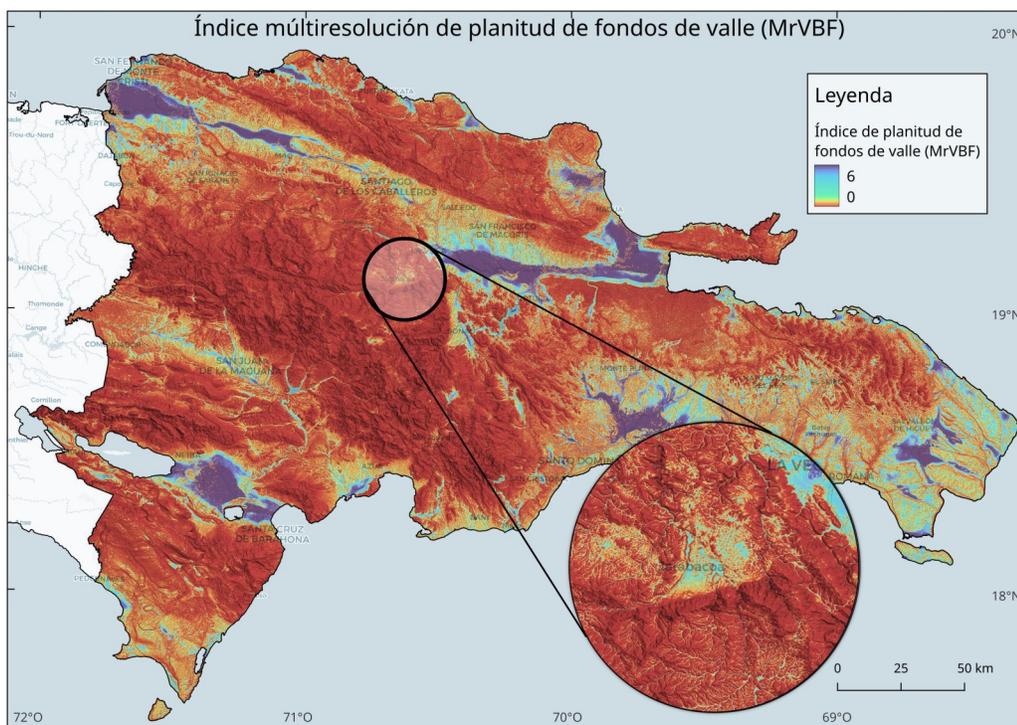


Áreas de prospección de sitios para evaluar la instalación de estaciones hidrométricas. Cada área de prospección es un buffer circular de radio proporcional a la separación entre estaciones meteorológicas (propuestas o existentes) para distintos escenarios de densidad de estaciones (100 km², 150 km² y 250 km²).

Fueron luego elegidos los siguientes criterios de priorización de sitios para el establecimiento de estaciones hidrométricas, los cuales fueron calculados exclusivamente dentro de las áreas de prospección:

- Orden de red: 4 para órdenes 4, 5, 6; 1 para órdenes ≤ 3 o ≥ 7 .
- Criterios de Rantz seleccionados:
 - Fondo de valle: 4 para fondos de valle pequeños; 1 para fondos de valle grandes.
 - Sinuosidad del tramo (#1 de lista de Rantz): 4 para rectilíneo (sinuosidad baja); 1 para curvo (sinuosidad alta)
 - Tipo de sustrato rocoso, rocas consistentes (#5): 4 para magmáticas nada o poco alteradas; 3 para metamórficas (no mármoles); 2 para sedimentarias (no calizas); 1 para calizas.
 - Confluencias y efectos mareales (#7): 4 para distante; 1 para próximo
 - Accesible (#9): 4 para próximo; 1 para distante. Ya valorado para las estaciones meteorológicas.
- Instrumentación en la subcuenca específica: se aplica al finalizar, realizando un análisis de vecindad por subcuenca, para determinar si el sitio propuesto se encuentra próximo a otro existente.

De manera particular, para discriminar entre talwegs con fondo de valle anchos (menos prioritarios, por su mayor inversión requerida) y talwegs con fondos de valle estrechos (prioritarios), se calculó el “índice múltiresolución de planitud de fondos de valle”, con el cual se estimó la superficie ocupada por este importante elemento morfológico del sistema fluvial. El mapa siguiente muestra el producto a escala nacional.



Distribución especial del Índice múltiresolución de planitud de fondos de valle.

Priorización de sitios

A partir de los criterios precisados arriba, a continuación se presentan las tablas de síntesis de los puntos de medición por nivel de priorización (“imprescindible”, “prioritario” y “moderadamente prioritario”) y los mapas con la distribución de los tramos donde es imprescindible instalar estaciones hidrométricas, para cada una de las densidades de red analizadas (100 km², 150 km², 250 km²).

Número de áreas de prospección en las que se propone instrumentar. Escenario de densidad: 100 kilómetros cuadrados

imprescindible	prioritario	Total prioritario + imprescindible	moderadamente prioritario	Total moderadamente prioritario + prioritario + imprescindible
28	99	127	152	279

Número de áreas de prospección en las que se propone instrumentar. Escenario de densidad: 150 kilómetros cuadrados

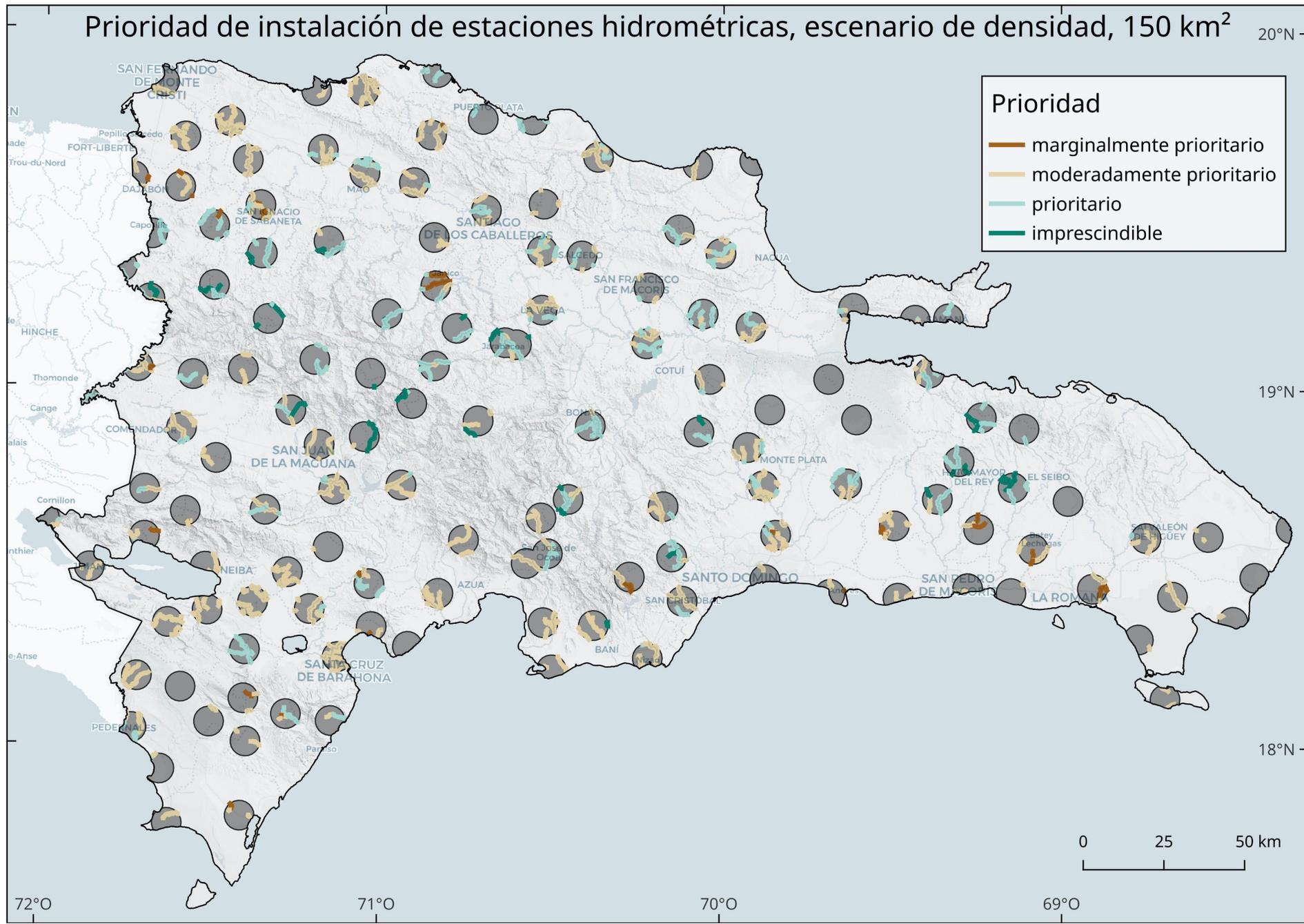
imprescindible	prioritario	Total prioritario + imprescindible	moderadamente prioritario	Total moderadamente prioritario + prioritario + imprescindible
21	74	95	110	205

Número de áreas de prospección en las que se propone instrumentar. Escenario de densidad: 250 kilómetros cuadrados

imprescindible	prioritario	Total prioritario + imprescindible	moderadamente prioritario	Total moderadamente prioritario + prioritario + imprescindible
17	51	68	71	139

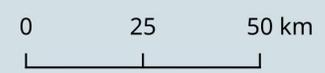


Prioridad de instalación de estaciones hidrométricas, escenario de densidad, 150 km²



Prioridad

- marginamente prioritario
- moderadamente prioritario
- prioritario
- imprescindible



72°W 71°W 70°W 69°W

20°N 19°N 18°N

BIBLIOGRAFÍA

AFD, 2021. Apoyo al sector Agrícola de la República Dominicana en un contexto de cambio climático (Componente 2). Evaluación de la situación de los servicios climáticos para la agricultura en República Dominicana. SalvaTerra, EGIS, IRD, Meteodyn, Guakía Ambiente, Fundación REDDOM, y Carbonium, Santo Domingo, 105 p.

Ali, M.Z.M., Othman, F., 2018. Rain gauge network optimization in a tropical urban area by coupling cross-validation with the geostatistical technique. *Hydrological Sciences Journal*, 63(3), 474-491. <https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1437271>

Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S.A., Kakooei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S.M., et al., 2020. Google Earth Engine cloud computing platform for remote sensing big data applications: a comprehensive review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 5326-5350. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052>

Amatulli, G., McInerney, D., Sethi, T., Strobl, P., Domisch, S., 2019. Geomorphogom - global high-resolution geomorphometry layers: empirical evaluation and accuracy assessment. *PeerJ Preprints* 7:e27595v1, <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.27595v1>

Barquet, K., Segnestam, L., & Dickin, S., 2022. MapStakes: a tool for mapping, involving and monitoring stakeholders in co-creation processes. Stockholm Environment Institute, Stockholm , 24 p. DOI: 10.51414/sei2022.014

Bertini, C., Ridolfi, E., Resende de Padua, L.H., Russo, F., Napolitano, F., Alfonso, L., 2021. An entropy-based approach for the optimization of rain gauge network using satellite and ground-based data. *Hydrology Research*, 52(3), 620-635. <https://doi.org/10.2166/nh.2021.113>

Bivand, R.S., Pebesma, E., Gómez-Rubio, V., 2013. Applied spatial data analysis with R. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7618-4>

Borcard, D., Gillet, F., Legendre, P., 2011. Numerical ecology with R. Springer, New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7976-6>

Breaz, R.E., Bologna, O., Racz, S.G., 2017. Selecting industrial robots for milling applications using AHP. *Procedia Computer Science*, 122, 346-353. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.379>

Burn, D.H., 1997. Hydrological information for sustainable development. *Hydrological Sciences Journal*, 42(4), 481-492. <https://doi.org/10.1080/02626669709492048>

CATHALAC & ENERGEIA, 2021. Levantamiento de información sobre estudios previos relacionados con Escenarios Climáticos considerando la evaluación de aquellos modelos de circulación general que mejor muestren el clima actual del país, e identificar las áreas prioritarias en las que se necesita información. Proyecto “Consultoría para el desarrollo de escenarios climáticos de precipitación, temperatura y ascenso del nivel del mar para los períodos 2020-2040; 2041-2060; 2061-2080 Y 2081-2100”, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Santo Domingo, 36 p.

CATHALAC & ENERGEIA, 2022. Escenarios climáticos de precipitación, temperatura y ascenso del nivel del mar para los períodos 2020-2040; 2041-2060; 2061-2080 Y 2081-2100. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Santo Domingo.

Chakhar, S., Mousseau, V., 2008. Multicriteria Decision Making, Spatial. In: Shekhar, S., Xiong, H. (eds.) Encyclopedia of GIS. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-0-387-35973-1_839

Cho, F., 2019. Ahpsurvey: Analytic Hierarchy Process for survey data. <https://CRAN.R-project.org/package=ahpsurvey>

Chung, W., Abdel-Aty, M.A., Lee, J., 2018. Spatial analysis of the effective coverage of land-based weather stations for traffic crashes. Applied Geography, 90, 17-27. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.11.010>

CNCCMDL & Ministerio Ambiente, 2018. Tercera Comunicación Nacional de República Dominicana para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Consejo Nacional para el Cambio Climático y Mecanismo de Desarrollo Limpio. Santo Domingo, República Dominicana. 348 pp. [https://www4.unfccc.int/sites/SubmissionsStaging/NationalReports/Documents/29064815_Dominican%20Republic-NC3-1-Informe%20Tercera%20Comunicaci%C3%83%C2%B3n%20\(Para%20WEB\)%20\(2\).pdf](https://www4.unfccc.int/sites/SubmissionsStaging/NationalReports/Documents/29064815_Dominican%20Republic-NC3-1-Informe%20Tercera%20Comunicaci%C3%83%C2%B3n%20(Para%20WEB)%20(2).pdf)

Congreso de la República Dominicana, 2004. Ley General de libre acceso a la información pública, no. 200-04.

Darbishire, H., 2006. El derecho a la información en América Latina. Anuario de Derechos Humanos, (2), 259.

Darko, A., Chuen Chan, A.P., Ameyaw, E.E., Owusu, E.K., Pärn, E., Edwards, D.J., 2019. Review of application of Analytic Hierarchy Process (AHP) in construction. International Journal of Construction Management, 19(5), 436-452. <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1452098>

Eastman, J.R., Jiang, H., Toledano, J., 1998. Multi-Criteria and Multi-Objective Decision Making for land allocation using GIS. In: Beinat, E., Nijkamp, P. (eds) Multicriteria Analysis for Land-Use Management. Environment & Management, vol 9. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9058-7_13

Fischer, M.M., Getis, A. (Eds.), 2010. Handbook of Applied Spatial Analysis: software tools, methods and applications. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-03647-7>

Frei, T., 2003. Designing meteorological networks for Switzerland according to user requirements. Meteorological Applications, 10(4), 313-17. DOI:10.1017/S135048270300104X

Google, 2022. Google Earth Engine. Retrieved from <https://earthengine.google.com>

Halcrow-COR Ing. S.A., 2002. Estudio de vulnerabilidad de las grandes presas. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Santo Domingo.

ICM, 1989. Serie E733 de mapas topográficos escala 1:50,000. Instituto Cartográfico Militar, Santo Domingo.

ICMA, 2016a. Evaluación de la vulnerabilidad climática del Municipio Las Terrenas para el Plan de Ordenamiento Territorial Municipal. Asociación Internacional de Ciudades y Municipios (ICMA), Programa de Planificación para la Adaptación Climática, USAID-FEDOMU-ICF International. Santo Domingo, República Dominicana.

ICMA, 2016b. Evaluación de la vulnerabilidad climática del Municipio San Pedro para el Plan de Ordenamiento Territorial Municipal. Asociación Internacional de Ciudades y Municipios (ICMA), Programa de Planificación para la Adaptación Climática, USAID-FEDOMU-ICF International. Santo Domingo, República Dominicana.

ICMA, 2016c. Evaluación de la vulnerabilidad climática del Distrito Nacional para el Plan de Ordenamiento Territorial Municipal. Asociación Internacional de Ciudades y Municipios (ICMA), Programa de Planificación para la Adaptación Climática, USAID-FEDOMU-ICF International. Santo Domingo, República Dominicana.

ICMA, 2016d. Evaluación de la vulnerabilidad climática del Municipio Santiago para el Plan de Ordenamiento Territorial Municipal. Asociación Internacional de Ciudades y Municipios (ICMA), Programa de Planificación para la Adaptación Climática, USAID-FEDOMU-ICF International. Santo Domingo, República Dominicana.

INDRHI, 1996. Estadísticas del agua en la República Dominicana. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Santo Domingo.

INDRHI, 2012. 2012. Plan Hidrológico Nacional, República Dominicana. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Santo Domingo.

INDRHI, 2019. Inventario de estaciones hidrometeorológicas: Informe Final. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Santo Domingo.

INDRHI, AQUATER, 2000. Estudio hidrogeológico nacional de la República Dominicana, Fase I. Memoria de Proyecto, 7 volúmenes. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Santo Domingo.

INDRHI, EPTISA, 2000. Estudio hidrogeológico nacional de la República Dominicana, Fase II. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Santo Domingo.

IPCC, 2013. Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896.

Izzo, M., Aucelli, P.P.C., Maratea, A., Méndez, R., Pérez, C., Roskopf, C.M., Segura, H., 2010. A new climatic map of the Dominican Republic based on the Thornthwaite classification. *Physical Geography*, 32(5), 455-472. <https://doi.org/10.2747/0272-3646.31.5.455>

Izzo, M., Rathe, L., Arias Rodríguez, D., 2012. Puntos críticos para la vulnerabilidad a la variabilidad y cambio climático en la República Dominicana y su adaptación al mismo. Programa para la Protección Ambiental, USAID-IDDI-TNC, Santo Domingo.

- Izzo, M., Araujo, N., Aucelli, P.P.C., Maratea, A., Sánchez, A., 2013. Land sensitivity to desertification in the Dominican Republic: an adaptation of the ESA methodology. *Land Degradation and Development*, 24(5), 486-498. DOI:10.1002/ldr.2241
- Izzo, M., Aucelli, P.P.C., Maratea, A., 2020. Historical trends of rain and air temperature in the Dominican Republic. *International Journal of Climatology*. DOI: 10.1002/joc.6710
- Karger, D.N., Conrad, O., Böhrner, J., et al., 2017. Climatologies at high resolution for the Earth's land surface areas. *Scientific Data*, 4(1), 170122. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>
- Köksalan, M.M., Wallenius, J., Zionts, S., 2011. Multiple Criteria Decision Making: from early history to the 21st century. World Scientific. https://books.google.com.do/books?id=LqAw1539l_cC
- Le, T.D.N., 2019. Climate change adaptation in coastal cities of developing countries: characterizing types of vulnerability and adaptation options. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 25, 739-761. <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09888-z>
- Lenderking, H.L., Robinson, S.A., Carlson, G.A., 2020. Climate change and food security in Caribbean Small Island Developing States: challenges and strategies. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 28, 238-45. <https://doi.org/10.1080/13504509.2020.1804477>
- Lohmann, H., 2016. Comparing vulnerability and adaptive capacity to climate change in individuals of coastal Dominican Republic. *Ocean & Coastal Management*, 132, 111-119. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.08.009>
- Mackay, E.A., Spencer, A.J., 2017. The future of Caribbean tourism: competition and climate change implications. *Worldwide Hospitality and Tourism Themes*, 9, 44-59. <https://doi.org/10.1108/WHATT-11-2016-0069>
- Maestre, F.T., Escudero, A., Bonet, A., 2008. Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales: métodos y aplicaciones. Dykinson (ed.).
- Malczewski, J., 2004. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning*, 62(1), 3-65. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2003.09.002>
- Marchi, M., Sinjur, I., Bozzano, M., Westergren, M., 2019. Evaluating WorldClim Version 1 (1961–1990) as the Baseline for Sustainable Use of Forest and Environmental Resources in a Changing Climate. *Sustainability, Sustainability*, 11(11), 3043. <https://doi.org/10.3390/su11113043>
- Martínez Batlle, J.R., 2022. Geofis/zonal-statistics: Let there be environmental variables (v0.0.0.9000). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7367256>
- Maxar Technologies, 2022. Earth intelligence and space infrastructure. Retrieved from <https://www.maxar.com/>
- Microsoft, 2022. Microsoft Planetary Computer. Retrieved from <https://planetarycomputer.microsoft.com/>
- Mishra, A.K., Coulibaly, P., 2009. Developments in hydrometric network design: A review. *Reviews of Geophysics*, 47(2), RG2001. <https://doi.org/10.1029/2007RG000243>

Mishra, A.K., Coulibaly, P., 2010. Hydrometric network evaluation for Canadian watersheds. *Journal of Hydrology*, 380(3-4), 420-437. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.11.015>

OEA, INDRHI, 1994. Plan Nacional de Ordenamiento de los Recursos Hídricos (PNORHI). Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI).

Planet Labs PBC, 2022. Planet | Homepage. Retrieved from <https://www.planet.com/>

PMA, 2019. Proyecto “Resiliencia a la sequía. Fortalecimiento de capacidades para mejorar la seguridad alimentaria y la resiliencia ante sequía en Haití y la República Dominicana”. Proyecto de Preparación ante emergencias basado en pronósticos de riesgos climáticos en República Dominicana (FBF). Programa Mundial de Alimentos (PMA), Santo Domingo.

Podvezko, V., 2009. Application of AHP technique. *Journal of Business Economics and Management*, 10(2), 181-189. <https://doi.org/10.3846/1611-1699.2009.10.181-189>

R Core Team, 2021. R: a language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>

Rantz, S.E., 1982a. Measurement and computation of streamflow. Volume 1. Measurement of stage and discharge, vol. 2175. US Department of the Interior, Geological Survey.

Rantz, S.E., 1982b. Measurement and computation of streamflow. Volume 2. Computation of discharge. Vol. 2175. US Department of the Interior, Geological Survey.

Rodríguez, H., Febrillet, J.F., 2006. Potencial hidrogeológico de la República Dominicana. *Boletín Geológico y Minero*, 117.

Rojas Briceño, N.B., Salas López, R., Silva López, J.O., Oliva-Cruz, M., Gómez Fernández, D., Terrones Murga, R.E., Iliquín Trigo, D., Barrena Gurbillón, M., Barboza, E., 2021. Site selection for a network of weather stations using AHP and Near Analysis in a GIS environment in Amazonas, NW Peru. *Climate*, 9(12), 169. <https://doi.org/10.3390/cli9120169>

Roson, R., 2013. A Modeling framework to assess the economic impact of climate change in the Caribbean. *CEPAL Review* 111, 23-36.

Saaty, T.L., 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)

Saaty, T.L., 2001. Fundamentals of the Analytic Hierarchy Process. In: Schmoldt, D.L., Kangas, J., Mendoza, G.A., Pesonen, M. (eds.) *The Analytic Hierarchy Process in natural resource and environmental decision making. Managing Forest Ecosystems*, 3. Springer, Dordrecht. http://link.springer.com/10.1007/978-94-015-9799-9_2

Saaty, T.L., 2013. The modern science of Multicriteria Decision Making and its practical applications: the AHP/ANP approach. *Operations Research*, 61(5), 1101-1118. <https://doi.org/10.1287/opre.2013.1197>

Saaty, T.L., Tran, L.T., 2007. On the invalidity of fuzzifying numerical judgments in the Analytic Hierarchy Process. *Mathematical and Computer Modelling*, 46(7-8), 962-975. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2007.03.022>

Safavi, M., Siuki, A.K., Hashemi, S.R., 2021. New optimization methods for designing rain stations network using New Neural Network, Election, and Whale Optimization Algorithms by combining the kriging method. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 4. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08726-z>

SEMARENA, 2004. Atlas de los recursos naturales de la República Dominicana. Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Santo Domingo.

SERCITEC, INDRHI, 2002. Control de inundaciones de la cuenca del Río Yaque del Norte. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Santo Domingo.

Skoufias, E., Narita, R., Narayan, A., 2014. Does access to information empower the poor? Evidence from the Dominican Republic. *Policy Research Working Papers*, World Bank Group. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-6895>

Subramanian, N., Ramanathan, R., 2012. A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management. *International Journal of Production Economics*, 138(2), 215-241. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.03.036>

Taherdoost, H., Madanchian, M., 2023. Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods and concepts. *Encyclopedia*, 3(1), 77-87. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010006>

Tekleyohannes, M., Grum, B., Abebe, N., Abebe, B.A., 2021. Optimization of rain gauge network using Multi-Criteria Decision Analysis and entropy approaches: case of Tekeze River basin, Northwestern Ethiopia. *Theoretical and Applied Climatology*, 145(1-2), 159-74. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03604-1>

Theochari, A.P., Feloni, E., Bournas, A., Baltas, E., 2021. Hydrometeorological-hydropetric station network design using multicriteria decision analysis and GIS techniques. *Environmental Processes*, 8, 1099–1119. <https://doi.org/10.1007/s40710-021-00527-x>

Thiriez, H., Zionts, S., 1975. *Multiple Criteria Decision Making: proceedings of a conference Jouy-En-Josas, France, May 21-23, 1975*. Vol. 130. Springer Science & Business Media.

Tuanmu, M.-N., Jetz, W., 2015. A global, remote sensing-based characterization of terrestrial habitat heterogeneity for biodiversity and ecosystem modelling: global habitat heterogeneity. *Global Ecology and Biogeography*, 24(11), 1329-1339. <https://doi.org/10.1111/geb.12365>

Valipour, E., Ghorbani, M.A., Asadi, E., 2019. Evaluation and optimization of rain gauge network based on the geostatistic methods and firefly algorithm. Case Study: Eastern basin of Urmia Lake. *Irrigation Sciences and Engineering*, 42(4), 153-66. <https://doi.org/10.22055/jise.2018.20549.1477>

van Wilgen, N.J., Goodall, V.L., Holness, S.D., Chown, S.L., McGeoch, M.A., 2016. Rising temperatures and changing rainfall patterns in South Africa's National Parks. *International Journal of Climatology*, 36(2), 706-721. <https://doi.org/10.1002/joc.4377>

Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., D'Agostino McGowan, L., François, R., Grolemund, G., et al., 2019. Welcome to the tidyverse. *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1686. <https://doi.org/10.21105/joss.01686>

Wiegand, T., Moloney, K.A., 2013. *Handbook of spatial point-pattern analysis in ecology*. CRC press.

WMO & IAHS, 1976. Hydrological network design and information transfer. World Meteorological Organization (WMO) and The International Association of Hydrological Sciences, Secretariat of the World Meteorological Organization.

WMO, 1996. Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

WMO, 2017a. Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos. World Meteorological Organization. Geneva, Switzerland.

WMO, 2017b. Guide to the WMO Integrated Global Observing System. World Meteorological Organization, WMO-No. 1165. Geneva, Switzerland.

WMO, 2020. Guide to hydrological practices. Volume I: Hydrology - from measurement to hydrological information. WMO Report No. 168. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

Yang, C., Yu, M., Hu, F., Jiang, Y., Li, Y., 2017. Utilizing cloud computing to address big geospatial data challenges. Computers, Environment and Urban Systems, 61, 120-128. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2016.10.010>

Zanaga, D., Van De Kerchove, R., Daems, D., De Keersmaecker, W., Brockmann, C., Kirches, G., et al., 2022. ESA WorldCover 10 m 2021 v200. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.7254221>

Zhao, Q., Yu, L., Li, X., Peng, D., Zhang, Y., Gong, P., 2021. Progress and trends in the application of Google Earth and Google Earth Engine. Remote Sensing, 13(18), 3778. <https://doi.org/10.3390/rs13183778>

ANEXO 1: Cuestionario para encuesta

El cuestionario usado para la entrevista de las entidades productoras de datos hidrometeorológicos está disponible al siguiente enlace:

[FORMULARIO PARA LA ENCUESTA](#)

ANEXO 2: Lista de estaciones por entidad

Las listas completas de las estaciones por entidad están disponible en un repositorio público en el portal Github, accesible a través del siguiente enlace:

<https://geofis.github.io/datos-meteoclimaticos-escenarios-cc/combinadas-lista-de-estaciones-activas.html>

ANEXO 3: Detalles metodológicos de la estadística zonal

El detalle metodológico de la estadística zonal multipropósito sobre la información geoespacial de República Dominicana que ha sido usada como base para la elaboración de los análisis contenidos en el presente documento está disponible en un repositorio público en el portal Github, a la siguiente dirección (Martínez Batlle, 2022):

<https://geofis.github.io/zonal-statistics/README.html>

ANEXO 4: Detalles metodológicos del análisis de la red de medición

El detalle metodológico de la metodología usada para el análisis de la red de medición, tanto meteorológica como hidrométrica, incluyendo la ponderación de criterios para la selección de sitios para su densificación, está disponible en un repositorio público en el portal Github, a las siguientes direcciones:

<https://geofis.github.io/datos-meteorologicos-escenarios-cc/seleccion-sitios-red-de-estaciones.html>

<https://geofis.github.io/datos-meteorologicos-escenarios-cc/seleccion-sitios-red-de-estaciones-hidrometricas-suplemento-metodologico.html>

