

Sistema para el Monitoreo de Bosques.

Programa de Desarrollo Agroforestal Sostenible, DR-L1134.

República Dominicana

Febrero 2022



1. Introducción y presentación del Sistema para el Monitoreo de Bosques	5
1.2. Antecedentes, objetivos y alcances del sistema de Monitoreo de Bosques.....	5
1.3. Definiciones nacionales de Bosque y deforestación.....	6
2. Desarrollo metodológico del Sistema de Monitoreo de Bosques	7
2.2. Imágenes satélites disponibles, características.....	8
2.3. Comparación de sensores Planet y Sentinel- 2.....	9
2.4. Resolución temporal.....	10
2.6. Niveles de tratamiento, correcciones atmosféricas y geométricas.....	11
3. Tratamiento y producción de las imágenes multiespectrales	11
3.1. Efectos atmosféricos y nubosidad.....	11
3.2. Procedimiento para la reducción de la influencia de nubes.....	12
4. Detección de la deforestación	12
4.1. Metodología de detección de cambios e identificación de la deforestación.....	13
4.2. Utilización del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).....	13
4.3. Determinación de los umbrales de cambio de Bosque a No Bosque.....	14
4.4. Validación de las zonas detectadas.....	16
4.5. Datos de deforestación Global Forest Change.....	16
4.6. Representación de la deforestación para el periodo 2018-2021.....	17
4.7. Datos de deforestación para el periodo 2018-2021.....	17
5. Proceso de Elaboración de la clasificación de Bosque/No Bosque	18
5.1. Filtros para la integración de píxeles aislados.....	18
5.2. Área mínima cartografiable.....	18
5.3. Cartografía de las zonas de Bosque/No Bosque.....	19
5.4. Superficies de bosque No/Bosque 2021.....	19
6. Validación y precisión de la cartografía	20
6.1. Muestreo y puntos de control.....	20
6.2. Coeficiente de Kappa.....	21
7. Análisis de impactos	22
8. Anexos	25
8.1. Mapa general.....	25
8.2. Mapas de deforestación 2018-2021.....	25
8.3. Mapas de Bosque / No Bosque.....	29
8.4. Mapas de evaluación de impactos 2018-2021.....	32
8.5. Listado de parcelas tituladas afectadas por deforestación.....	36
8.6. Código JavaScript para la producción de imágenes Seninel-2 en Google Earth Engine.....	37
8.7. ódigo para descargar de imágenes Planet en Google Earth Engine.....	38

Índice de imágenes

1. Localización de las zonas de monitoreo	7
2. Comparación de imágenes Sentinel-2 y Planet en composición color verdadero R/G/B.....	9
3. Comparación de imágenes Sentinel-2 y Planet en composición falso color NIR/G/B 2021	10
4. Cobertura de las imágenes Sentinel-2 en la zona de monitoreo.....	11
5. Aplicación del proceso para el filtrado y atenuación de la nubosidad e imágenes resultantes.....	12
6. NDVI de la zona de monitoreo 4- Proyecto Hondo Valle-Juan Santiago	14
7. Procedimiento para establecer umbrales	15
8. Muestra de la diferencia temporal sobre imagen de NDVI y detección de deforestación.....	15
9. Muestra de la diferencia temporal sobre imagen color verdadero y detección de deforestación	15
10. Muestra del proceso de detección y validación de la deforestación sobre imagen R/G/B.....	16
11. Mapa de la deforestación para la zona de monitoreo 1- Proyecto Barahona periodo 2018-2021.....	17
12. Mapa de Bosque/ No Bosque para la zona de monitoreo 5- Proyecto San Juan	19
13. Puntos de control para la validación y cálculo de precisión de los mapas de Bosque/No Bosque.	21
14. Mapa de análisis de impactos para la Zona 7- Proyecto Las Cañitas.....	24
15. Etapas del geoprocesamiento	24

Índice de tablas

Tabla 1. Superficie de las Zonas de Monitoreo.....	8
Tabla 2. Bandas espectrales de las imágenes Sentinel-2.....	10
Tabla 3. Superficie deforestada por zona para el periodo 2018-2020.....	17
Tabla 4. Superficie de Bosque/No Bosque año 2021	19
Tabla 5. repartición de números de puntos de control.....	20
Tabla 6. Matriz de confusión para los mapas de Bosque/No Bosque.....	21
Tabla 7. Precisión global y Coeficiente de kappa	22
Tabla 8. análisis de impactos	23

1. Introducción y presentación del Sistema para el Monitoreo de Bosques.

1.1. Identificación e inclusión en el contexto del programa.

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Gobierno Dominicano se encuentran ejecutando el “Programa de Desarrollo Agroforestal Sostenible”, DRL-1134.

El Programa presenta los siguientes dos componentes:

- Componente 1: Desarrollo Agroforestal, a ser financiado a través del instrumento Préstamo Basado en Resultados (PBR). La Unidad Técnica Ejecutora del Programa de Desarrollo Agroforestal (UTEFDA) es el ejecutor directo de este componente
- Componente 2: Rehabilitación de Caminos Vecinales, a ser financiado a través de la modalidad de Obras Múltiples. La ejecución de este componente está bajo la responsabilidad del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC).

El BID requiere que las operaciones que financia, incluyendo el Proyecto, cumplan con aquellas políticas aplicables a los componentes y actividades contempladas en el mismo. Entre estas se encuentran las políticas de Medio Ambiente y Cumplimiento de Salvaguardias (OP-703), Igualdad de Género en el Desarrollo (OP-761), Pueblos Indígenas (OP-765), Reasentamiento Involuntario (OP-710), y Gestión del Riesgo de Desastres Naturales (OP-704). (*Doc. Evaluación de Sistemas Ambientales y Sociales en la República Dominicana –Programa de Desarrollo Agroforestal Sostenible (DRL-1120) 2018*)

Previamente al inicio del Programa se identificó que eventualmente las acciones desarrolladas podrían tener una potencial Afectación de hábitats naturales y críticos (áreas de importancia internacional) por deforestación y ampliación de frontera agrícola producto de actividades de titulación y rehabilitación de caminos.

Como medida de mitigación para paliar los efectos adversos se ha establecido la necesidad de poner en marcha un Sistema de Monitoreo de Bosques para las zonas afectadas por el Programa.

Se presenta en este documento la metodología y los principales lineamientos para desarrollar el Sistema de Monitoreo de bosques utilizando técnicas de teledetección y representación cartográfica, permitiendo realizar un análisis de la superficie y evolución diacrónica de las mismas.

1.2. Antecedentes, objetivos y alcances del sistema de Monitoreo de Bosques.

El objetivo de este estudio se centra en contribuir al apoyo y esfuerzo llevado a cabo por Gobierno de la República Dominicana en el desarrollo del sistema de monitoreo de la evolución de la cobertura forestal en las siete cuencas del Programa Agroforestal Sostenible implementado por la UTEFDA y medir impactos relacionados con el cambio de uso de la tierra en áreas protegidas adyacentes y áreas forestales de importancia.

El monitoreo para el seguimiento y evaluación de los recursos naturales y de la cobertura boscosa en concreto, forma parte de las herramientas más utilizadas en acciones a escala global, nacionales y regional. cuya finalidad principal es la conservación, la reducción de la deforestación y de la degradación de los ecosistemas naturales.

Este tipo de acciones requieren contar con información actual, permanente, y confiable sobre el monitoreo del territorio y más concretamente de los bosques para hacer una gestión adecuada de los mismos. Se

pretende elaborar un sistema de monitoreo de bajo costo y que pueda ser puesto en marcha de manera periódica y sistemática por el personal técnico del Ministerio Ambiente y la UTEPDA.

Este sistema de monitoreo está orientado a la elaboración de una metodología replicable a nivel regional y compatible con otras acciones similares a nivel nacional, basándose en datos globales y locales públicamente disponibles.

El desarrollo generalizado de los sistemas de información geográfica, así como el acceso gratuito a múltiples fuentes y servicios de imágenes satélite, han promovido y facilitado la puesta en marcha de este tipo de herramientas como una de las principales para evaluar el impacto sobre los ecosistemas.

En la República Dominicana se han venido utilizando en múltiples estudios este tipo de técnicas para la realización de diferentes análisis a nivel nacional, como se resume en el inventario Forestal Nacional. La clasificación de uso y cobertura de la tierra, publicada en el 2003. (Tolentino y Peña, 1998) el estudio de uso y cobertura del suelo 2011-2012 (MARN) o el mapa de uso y cobertura forestal 2014 cobertura a nivel nacional utilizando imágenes Planet en el año 2010 son un claro ejemplo de ello.

Este estudio tiene por objetivo realizar el seguimiento a escala regional, exclusivamente a las zonas afectadas por el Programa atendiendo a la evolución en el interior de estas zonas a su estado previo al inicio del proyecto y a su evolución durante el periodo de ejecución.

El Sistema Monitoreo que aquí se expone incluye tres fases diferenciadas en la propia concepción del proceso de detección de la deforestación.

1. Análisis de la deforestación a partir del año 2018 hasta el momento actual, diciembre del año 2021.
2. Puesta en marcha de un sistema de detección adaptado al proyecto para ser aplicado de manera anual o semestral.
3. Clasificación de Bosque y No Bosque de manera precisa para el año 2021 en cada una de las zonas de Monitoreo, que sirva como línea de base para el Monitoreo de la deforestación en el futuro.

1.3. Definiciones nacionales de Bosque y deforestación

En el contexto de la preparación del país para el mecanismo de Reducción de las Emisiones por Deforestación y Degradación de Bosques (REDD+) se adoptó en el 2019 la siguiente definición de bosque: *“Ecosistema natural o plantado con diversidad biológica y enriquecimiento de especies leñosas, que produce bienes, provee servicios ambientales y sociales, cuya superficie mínima de tierra es de 0.81 ha(3x3 pixeles de 30m), con una cobertura de copa arbórea que supera el 30% de dicha superficie y árboles o arbustos con potencial para alcanzar una altura mínima de 5 metros en su madurez in situ y 3 metros para bosque seco. Se incluyen en esta definición los sistemas agroforestales que cumplan con estos criterios”*. (Nivel de referencia de emisiones forestales de la República Dominicana 2019)

La definición acogida para el INF-RD es compatible con la definición legal de bosque adoptada por la República Dominicana en la Ley Forestal No. 57-18 del 10 de diciembre de 2018: *“Bosques: Es un ecosistema natural o intervenido, con una superficie mínima de 0.5 hectáreas, equivalente a ocho tareas, con cobertura arbórea que supera el 40% de dicha superficie y árboles y arbustos con potencial para alcanzar una altura mínima de 5 metros en su estado de madurez”*, la cual ha sido la definición de bosques utilizada en los estudios de cobertura forestal de la República Dominicana en 1998, 2003 y 2012 (Tolentino y Peña, 1998; MARN, 2014).

Definición de deforestación: eliminación inducida por el hombre de la cobertura del dosel del bosque que sobrepasa el umbral del 30% establecido en la definición de bosque. La eliminación de cobertura es a largo plazo o permanente, y resulta en un uso de la tierra no forestal. Considerando que dentro de las tierras forestales se incluyen los cultivos de cacao, café y otros frutales, la estimación de emisiones por deforestación incluye las transiciones de estos cultivos a tierras no forestales (vegetación leñosa y vegetación no leñosa). (Nivel de referencia de emisiones forestales / nivel de referencia forestal de la república dominicana 2019)

La República Dominicana cuenta con una cobertura forestal representada por bosque de pino, bosque latifoliado, bosque seco, manglares y bosque de humedales dulces. Las causas que están asociadas a actividades antropogénicas y que han provocado la pérdida, descomposición o disección de los bosques, como es la tala de maderas preciosas, el asentamiento de sembradíos de caña de azúcar, arroz, café, cacao y otros rubros en fuertes pendientes y zonas montañosas, obtención de carbón, áreas de esparcimiento urbano, construcciones viales, y complejos turísticos. (Inventario Forestal Nacional)

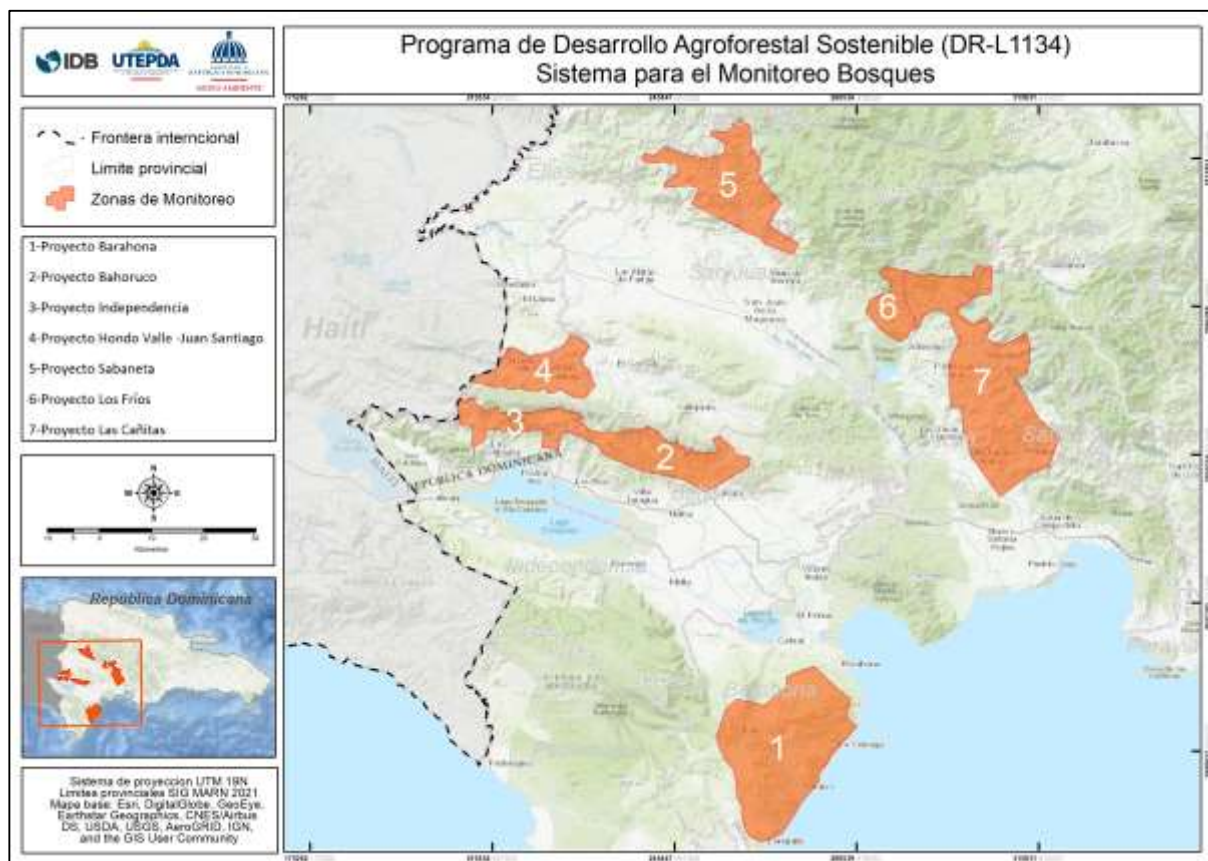
2. Desarrollo metodológico del Sistema de Monitoreo de Bosques

2.1. Zonas de intervención

El programa se desarrolla geográficamente en siete zonas de intervención, identificándose cada una de ellas con un programa de acciones concreto. Estas zonas de intervención han sido delimitadas siguiendo criterios territoriales, ambientales y paisajísticos, en función por un lado a las acciones derivadas de la mejora de caminos e infraestructuras y a las necesidades ambientales y productivas abordadas desde el componente de desarrollo agroforestal.

Las áreas en las que se desarrolla el proyecto se encuentran en el sector sur oeste del país, conteniendo en su interior diferentes zonas de vida ecosistemas y una elevada variabilidad ambiental y paisajista. En este sentido, una de las principales características para la implementación de un sistema de monitoreo de bosques radica en el hecho de que este, debe considerar el seguimiento de los bosques de manera independiente e individual para cada una de estas zonas de estudio.

Se trata por tanto del monitoreo de un espacio no continuo y restringido a límites espaciales precisos. Cabe señalar que cuatro de las zonas del proyecto comparten una porción de sus límites, si bien su análisis se ha realizado de forma individualizada. En la siguiente imagen se representan las zonas de Monitoreo del proyecto.



1. Localización de las zonas de monitoreo

Como se puede apreciar las zonas de estudio tienen dimensiones y configuraciones poligonales variadas con características geográficas y ambientales particulares, albergando ecosistemas y espacios forestales diversos, lo cual justifica la necesidad de realizar el monitoreo de manera independiente para cada una de ellas incluyendo las zonas limítrofes.

Se presenta a continuación una tabla en la que se incluyen las superficies totales para cada una de las zonas.

Zonas de monitoreo	Superficie/has
Zona 1-Proyecto Barahona	51,616.65
Zona 2-Proyecto Bahoruco	20,050.97
Zona 3-Proyecto Independencia	1,0647.87
Zona 4-Proyecto Hondo Valle- Juan Santiago	15,358.39
Zona 5-Proyecto Sabaneta	27,386.99
Zona 6-Proyecto Los Fríos	7,538.81
Zona 7- Proyecto Las Cañitas	53,812.29
Total	186,411.97

Tabla 1. Superficie de las Zonas de Monitoreo

2.2. Imágenes satélites disponibles, características.

Para la realización de este estudio se han valorado diferentes fuentes y sensores ópticos multiespectrales entre las diferentes opciones de acceso gratuito disponibles. Dentro de estas, se han considerado, atendiendo a las características necesarias para la realización de los objetivos del proyecto las imágenes provenientes de los satélites Landsat-8, Sentinel-2 y Planet.

Cada uno de estos tres sensores, comparándolos entre sí, presentan ventajas y desventajas en cuanto a su resolución espacial, espectral y temporal.

Finalmente, la elaboración de los productos clave en este proyecto, así como la detección de la deforestación para el año 2021 se han concentrado en la utilización de los productos Sentinel-2, si bien como se explica a continuación los dos sensores restantes también han contribuido y participado en diferentes etapas de la cadena de procesos llevada a cabo.

En los últimos años las imágenes del satélite Sentinel-2, producidas en el marco del Programa Copernicus de la Unión Europea han tenido una amplia repercusión debido a su acceso libre y sus especificaciones técnicas, siendo uno de los sensores de alta resolución más utilizados. Su resolución espacial de 10m junto con una resolución temporal de 5 días y su amplitud espectral presentada en 12 bandas incluyendo desde el azul hasta el infrarrojo cercano lo convierten en uno de los sensores más versátiles y en una fuente de referencia para la realización de estudios de deforestación y seguimiento de ecosistemas naturales.

Por otro lado, y desde el inicio del año 2021 se han puesto a libre disposición del público los mosaicos de imágenes de las regiones tropicales del planeta, facilitadas por el programa NICFI y obtenidas a través de los sensores y constelación de satélites de la Plataforma Planet. NICFI es una plataforma de datos satélite proporcionada por el Fondo de desarrollo internacional de Noruega para contribuir a la protección y gestión sostenible de los bosques tropicales. Gestionado por KSAT, Planet y Airbus, proporciona un acceso integral a la monitorización por satélite de alta resolución de los trópicos, poniendo a disposición de los usuarios imágenes satelitales de alta resolución de los trópicos de forma gratuita. El programa estará en marcha hasta septiembre de 2022, con la posibilidad de una prórroga de dos años más. Los productos Planet, tras diferentes pruebas con sus opciones de clasificación y potencialidad para este proyecto, han sido utilizados

exclusivamente como soporte visual para la validación de las detecciones de zonas eventualmente deforestadas.

Por su lado los productos e imágenes provenientes del satélite Landsat-8, dentro del programa desarrollado por la NASA desde el año 2015 han sido incorporados como datos secundarios, y como datos de referencia para elaborar productos propios, principalmente aquellos derivados de las identificaciones de las pérdidas de bosque anuales incluidas en el programa Global Forest Change 2000–2020 y su propuesta de identificación de zonas de bosque.

2.3. Comparación de sensores Planet y Sentinel-2

Para la elección de las imágenes utilizadas de manera principal en la realización del proyecto se llevaron a cabo numerosas pruebas, y comparaciones entre los sensores Sentinel-2 y Planet.

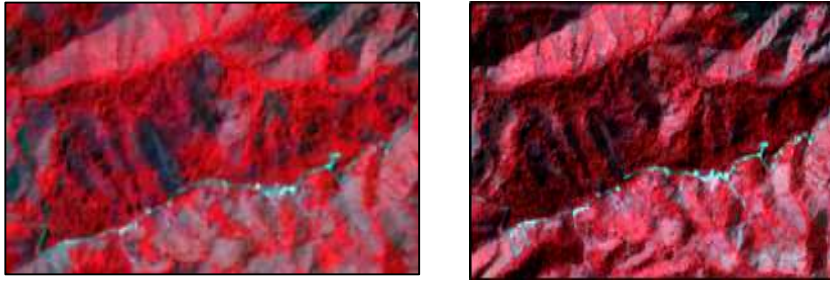
Sin duda la resolución a 5 metros de los sensores Planet frente a los 10m de Sentinel-2 pueden suponer, a priori, una mayor ventaja para discriminar coberturas de uso del suelo y detectar cambios sustanciales en la vegetación. Sin embargo, cabría señalar que no siempre una mejor resolución supone una ventaja para los objetivos del proyecto que nos ocupa. Hay que considerar que una mayor resolución implica igualmente una mayor afectación de múltiples variables ambientales, principalmente la influencia del suelo en bosques abiertos o de foliación variables como son los bosques secos, bosques abiertos de pinares o sistemas agroforestales, en los que existe una elevada variabilidad del estado fenológico de los estratos inferiores al bosque.

Las ventajas de una resolución menor radican en que, si bien el nivel de detalle es menor, se eliminan perturbaciones derivadas de los cambios de vegetación no ligados estrictamente a la deforestación. En definitiva, un pixel de 10 metros de resolución simplifica en mayor medida la realidad ofreciendo los valores medios en su interior, pero ofreciendo suficiente detalle para los objetivos de este proyecto, que podríamos definir como de mediana escala.



2.Comparación de imágenes Sentinel-2 y Planet en composición color verdadero R/G/B

Se puede apreciar en la imagen anterior como la resolución espacial permite en ambos sensores, la identificación de los elementos principales del territorio. Destaca por su lado la imagen sentinel-2 con una menor afectación de áreas sombreadas, y colores de la vegetación con mayor intensidad.



3. Comparación de imágenes Sentinel-2 y Planet en composición falso color NIR/G/B 2021

En las imágenes anteriores se aprecia igualmente la respuesta espectral de la vegetación a través de la banda del infrarrojo cercano NIR expuesta en el canal rojo para ambos satélites.

Los productos ofrecidos por Planet están compuesto por el mosaico de diferentes sensores lo cual tiene mayor variabilidad en cuanto al ángulo de adquisición de las escenas, la iluminación y la presencia de zonas de sombra, elementos que se muestran con una mayor afectación que en las imágenes Sentinel-2.

2.4. Resolución temporal

La resolución temporal de cada satélite de la misión Sentinel-2 por separado es de 10 días, duplicándose la frecuencia al estar los dos operativos, alcanzándose por tanto una resolución temporal de 5 días bajo las mismas condiciones de iluminación, salvo para las regiones únicamente observadas por un satélite a partir del año 2015

Por su parte Planet ofrece una periodicidad semestral desde diciembre de 2015 hasta agosto de 2020 y desde septiembre de 2020 en adelante una frecuencia mensual.

2.5. Resolución radiométrica

La resolución radiométrica del instrumento MSI es de 12 bits, lo que permite adquirir la imagen en un rango de 0 a 4095 valores de intensidad de luz potencial.

Banda Sentinel 2	Longitud de onda central (µm)	Resolución espacial (m)
Banda 1 – coastal aerosol	0.443	60
Banda 2 - azul	0.490	10
Banda 3 – verde	0.560	10
Banda 4 – rojo	0.665	10
Banda 5 – Vegetation Red Edge	0.705	20
Banda 6 – Vegetation Red Edge	0.740	20
Banda 7 – Vegetation Red Edge	0.783	20
Banda 8 – NIR	0.842	10
Banda 8A – Vegetation Red Edge	0.865	20
Banda 9 – Vapor de agua	0.945	60
Banda 10 – SWIR – cirros	1.375	60
Banda 11 – SWIR	1.610	20
Banda 12 - SWIR	2.190	20

Tabla 2. Bandas espectrales de las imágenes Sentinel-2

Su amplitud espectral y diversidad en el número de bandas permite realizar múltiples combinaciones para resultar elementos y usos del suelo concretos, lo que facilita la interpretación visual del territorio.

Por su lado los productos Planet han sido optimizados para el análisis científico y cuantitativo, estos mosaicos ofrecen datos espacialmente precisos con efectos minimizados de la atmósfera y las características del sensor. Incluyen una cuarta banda (infrarrojo cercano) y son adecuados para una variedad de índices de vegetación, incluido el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), entre otros.

Las características generales de los productos Planet se resumen en:

- Área: Regiones tropicales globales
- Resolución espacial: 4.77 m por píxel
- Resolución espectral: Rojo, verde, azul, infrarrojo cercano (NIR) (4 bandas)

No se cuenta con la información espectral de los canales que componen el mosaico ni en cuanto a su ancho de banda por lo que no se puede conocer con exactitud los valores del espectro electromagnético que contienen.

2.6. Niveles de tratamiento, correcciones atmosféricas y geométricas

Las imágenes Sentinel-2 utilizadas se tienen un nivel de tratamiento de tipo 2A en el que se aplican correcciones atmosféricas para proporcionar las ortoimágenes con niveles digitales expresados en valores de reflectancia reales a nivel de superficie (BOA, Bottom-Of-Atmosphere reflectances). En el producto incluye un mapa de clasificación que contempla las siguientes clases: nubes, sombras de nubes, vegetación, suelos/desiertos, agua, nieve, etc. Este producto posee unas dimensiones de 100 km x 100 km y ocupa un volumen de almacenamiento medio de 800 MB.

Para productos ortorectificados Nivel-2A: las unidades de división se denominan tiles. Un tile tiene una extensión geográfica de 100 km x 100 km en el sistema de referencia geodésico WGS84 y en la proyección cartográfica UTM, en el huso correspondiente a la ubicación geográfica.



4. Cobertura de las imágenes Sentinel-2 en la zona de monitoreo

Las siete zonas de estudio se localizan en su totalidad en un mosaico de cuatro escenas Sentinel-2. Los mosaicos obtenidos fueron recortados para obtener las zonas de Monitoreo delimitadas por el proyecto. En su proceso se han desarrollado igualmente diferentes técnicas que se describen a continuación que completan el proceso de obtención final de cada escena por las fechas determinadas.

3. Tratamiento y producción de las imágenes multispectrales

3.1. Efectos atmosféricos y nubosidad.

Sin duda una de las principales perturbaciones en el ámbito de la teledetección óptica radica en la presencia de nubes y fenómenos atmosféricos que perturban los valores reales de la reflectancia en superficie.

La zona de estudio presenta zonas especialmente sensibles a este fenómeno, con zonas que superan la altitud de 2000 m.s.n.m, y espacios que acumulan una fuerte condensación de nubes como se puede deducir de la presencia de bosques montañosos húmedos en donde la presencia de nubes es prácticamente constante. Las imágenes Sentinel-2 lógicamente están sometidas a este tipo de perturbaciones, e incluso las imágenes

Planet ofrecidas como un producto prácticamente exento de nubosidad, contiene zonas en las que su eliminación no ha sido posible.

3.2. Procedimiento para la reducción de la influencia de nubes

Para evitar esto se ha utilizado, en las imágenes Sentinel-2, la aplicación de técnicas de filtrado, recorte y recomposición a través de la plataforma de tratamiento de imágenes satélite Google Earth Engine, mediante el desarrollo de un Script elaborado para tal fin.

El proceso de obtención se desarrolla seleccionando la biblioteca de imágenes de Sentinel-2 en procesamiento SR (COPERNICUS/S2_SR) por medio de la acotación de la colección en los aspectos de porcentaje de nubosidad, es decir, la cantidad de nubes permitidas por el intérprete, correspondiente en este caso al 80%, el rango de tiempo en que se realiza la búsqueda de imágenes, y la definición y corte a partir del área de estudio. Se aplica una máscara de nubosidad a cada imagen de la colección, que es producto de la identificación y corte de las zonas que de acuerdo con la banda de calidad QA60 posee presencia de nubes y cirrus (Traganos et al., 2018). Esta acción disminuye la posibilidad de que existan nubes en el mosaico.

Con el propósito de realizar la clasificación a partir de una sola imagen se emplea una reducción de la colección de las imágenes generando un mosaico de medianas, puesto que no es afectada por valores de reflectancia atípicos; al seleccionar el valor de la mediana de cada píxel genera una imagen homogénea en el espacio y tiempo que disminuye las afectaciones por presencia de nubes y fuentes de contaminación (Flood, 2013).

En el ámbito de la estadística, la mediana representa el valor de la variable de posición central en un conjunto de datos ordenados. Por lo tanto, las imágenes obtenidas representan a la mediana del conjunto de imágenes sin nubes para cada una de las zonas de monitoreo.

En todo caso la eliminación total de las nubes y efectos de la bruma resulta inevitable para ciertas zonas del proyecto, con una cobertura de nubes muy elevada. Quedan por tanto algunas zonas puntuales influenciadas por su presencia.



5. Aplicación del proceso para el filtrado y atenuación de la nubosidad e imágenes resultantes

4. Detección de la deforestación

En este apartado se detallan los procesos y geotratamientos llevados a cabo para la puesta en marcha de un sistema de detección adaptado al proyecto para ser aplicado de manera anual o semestral. Para ello se ha desarrollado una cadena de procesos que van desde la obtención de imágenes, el establecimiento de una técnica de detección de cambios en las zonas de bosque y la producción cartográfica.

Parte de la eficacia de cualquier sistema de monitoreo radica en la capacidad de diferenciar los cambios debidos a estos factores (Verbesselt et al., 2012), en el caso del sistema de monitoreo de Bosques, este debe ser capaz de discriminar las diferencias debidas a cambios fenológicos de los eventos de deforestación, lo cual resulta clave en Bosques estacionales como los Bosques secos. Igualmente, importante es el hecho

de contar con la menor cantidad posible de áreas sin información, así como disminuir el error asociado a las condiciones atmosféricas.

Cabe señalar, que la elección de la metodología viene precedida de múltiples ensayos con diferentes técnicas, para finalmente adoptar la más apropiada y fiable. En ese sentido, inicialmente y como primera aproximación metodológica se optó por realizar una "Clasificación supervisada" para cada una de las zonas de monitoreo sobre una escena anual desprovista en lo posible de nubes. Esta metodología aportó datos imprecisos, debido principalmente a las variaciones ambientales y meteorológicas, las cuales tiene una influencia directa sobre la respuesta espectral de la vegetación. El bosque seco, principalmente al igual que otras formaciones vegetales, tiene una fuerte variabilidad estacional lo que dificulta su análisis multitemporal, por lo que la detección de la deforestación por medio de la clasificación supervisada fue descartada y se optó por la utilización de la detección de cambios mediante umbrales de diferencia en el NDVI.

4.1. Metodología de detección de cambios e identificación de la deforestación

Descartadas otras metodologías se optó por la detección de cambios mediante la utilización de "comparaciones del NDVI multitemporales" y estableciendo "umbrales espectrales" para identificar dichos cambios

Con esta técnica se identifican los cambios bruscos en la vegetación, como manifestación de un cambio de uso del suelo de Bosque a No Bosque. Este enfoque metodológico busca minimizar las falsas detecciones debidas a errores en la clasificación de la cobertura de Bosque entre dos fechas, ya que es posible verificar directamente sobre las imágenes si ocurrió o no el cambio.

Este proceso incluye, por tanto, además de la detección automática, la validación visual de cada uno de los eventuales cambios detectados excluyéndose los falsos positivos.

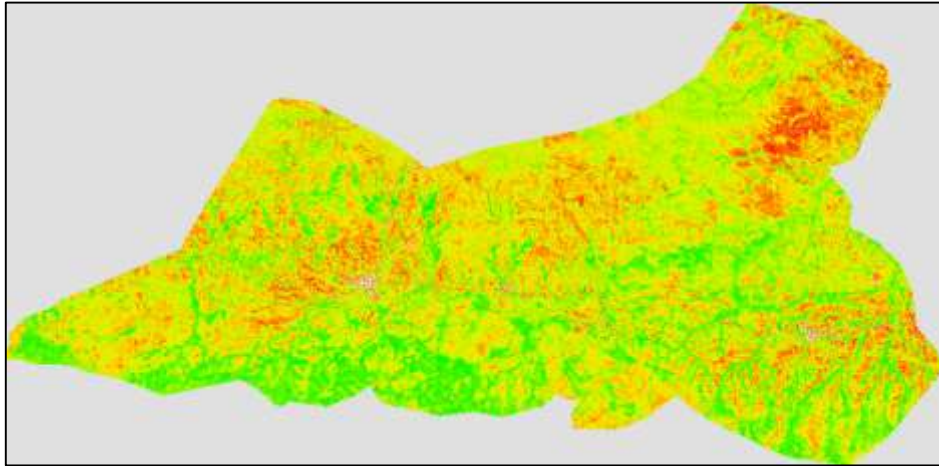
4.2. Utilización del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

El **NDVI** (índice de vegetación de diferencia normalizada) es uno de los índices espectrales más utilizados en teledetección. Como la vegetación refleja fuertemente una parte del espectro, comparar la banda roja y la del infrarrojo cercano permite detectar la vegetación fácilmente. El **NDVI** se calcula con la siguiente fórmula: **NDVI = (NIR-Red) / (NIR+Red)**, donde *NIR* es la luz del infrarrojo cercano y *Red* es luz roja visible.

La comparación del *NDVI* entre fechas permite detectar la ocurrencia de cambios estacionales o cíclicos abruptos naturales o de origen antrópico tales como incendios o eventos de deforestación (Verbesselt et al., 2012); estas variaciones son captadas simultáneamente por los sensores y son puesta de manifiesto mediante la comparación entre escenas de diferente fecha.

A partir de la serie temporal establecida, es posible obtener una sola representación del *NDVI* mediante la selección o el cálculo de un valor derivado de los datos de la serie original (Colditz & Ressler, 2013); este compuesto es una nueva imagen o ráster donde cada pixel tiene un valor asignado según el proceso o función estadística aplicada en nuestro caso la mediana de las bandas espectrales que integran el *NDVI*. En este caso, su cálculo se realiza sobre la imagen saliente de este citado proceso llevado a cabo en *Google Earth Engine*.

Por tanto, el *NDVI* anual para cada una de las zonas de monitoreo es calculado de manera independiente a partir de la imagen obtenida de la mediana anual sin nubes. De esta manera se disminuye la cantidad de área sin información puesto que cada pixel tendrá un valor sí al menos una de las imágenes de la serie no contiene nubes densas o ruido en dicho pixel.



6. NDVI de la zona de monitoreo 4- Proyecto Hondo Valle-Juan Santiago

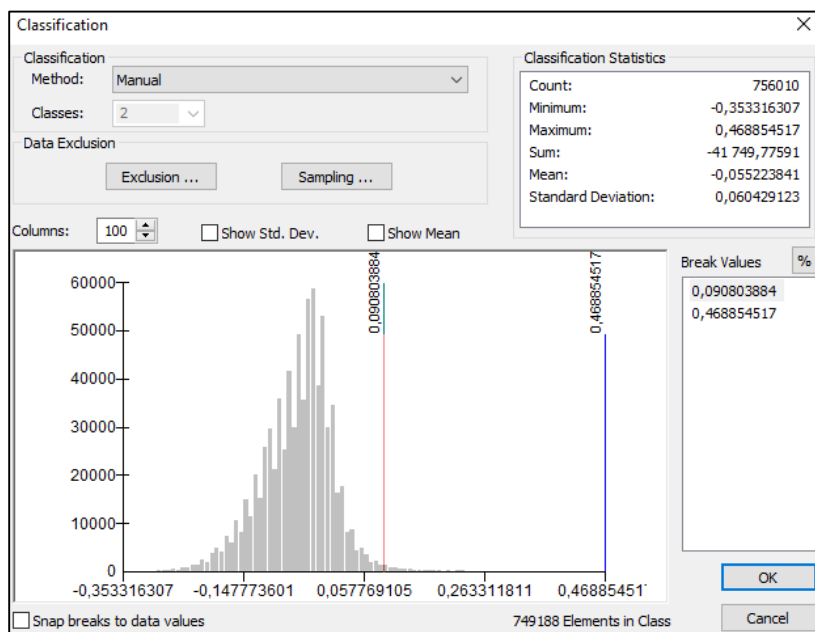
EL *NDVI* es producido por tanto de manera automática a través del código generado en lenguaje JavaScript en el entorno *Google Earth Engine* (El código se presenta en anexos) y una vez obtenido para cada una de las zonas se procede a realizar la diferencia entre la imagen del periodo más antigua y la más reciente, en el caso de esta fase del proyecto entre los años 2020 y 2021.

4.3. Determinación de los umbrales de cambio de *Bosque a No Bosque*

Definición de deforestación: eliminación inducida por el hombre de la cobertura del dosel del bosque que sobrepasa el umbral del 30% establecido en la definición de bosque. La eliminación de cobertura es a largo plazo o permanente, y resulta en un uso de la tierra no forestal. Considerando que dentro de las tierras forestales se incluyen los cultivos de cacao, café y otros frutales, la estimación de emisiones por deforestación incluye las transiciones de estos cultivos a tierras no forestales (vegetación leñosa y vegetación no leñosa).

En este tipo de Índice de vegetación, como la vegetación refleja fuertemente una parte del espectro, comparar la banda roja y la del infrarrojo cercano permite detectar la vegetación fácilmente. Los valores del *NDVI* varían de -1 a 1, cuanto más alto es este índice, mayor es la probabilidad de tener vegetación. En general, los valores superiores a 0,2 se pueden considerar como vegetación, y el bosque suele estar cerca de 1 durante periodos de mayor contenido clorofílico.

Por tanto, la diferencia del *NDVI* entre fechas a través de la sustracción de una fecha a otra nos dará como resultado una imagen de los cambios acontecidos. La diferencia entre el *NDVI* de dos fechas determinadas ofrece como resultado una imagen ráster y ofreciendo la posibilidad de ser clasificada atendiendo a los valores de los rangos obtenidos.



7. Procedimiento para establecer umbrales

Las pérdidas significativas de *NDVI* se integran de manera general entre los valores 0.08 y 0.47 de la imagen de diferencias por lo que son detectables mediante el método. En todo caso se debe definir para cada una de las imágenes el umbral adecuado ya que la diferencia en el *NDVI* es particular a las características de cada una de las escenas a analizar.



8. Muestra de la diferencia temporal sobre imagen de *NDVI* y detección de deforestación



9. Muestra de la diferencia temporal sobre imagen color verdadero R/G/B y detección de deforestación

Detectadas las diferencias del *NDVI*, se procede a la clasificación definitiva de la imagen, extrayendo únicamente las zonas de cambio, para realizar posteriormente las acciones de post-procesado consistentes a la eliminación de píxeles aislados. Cabe señalar que todos los cambios del *NDVI* inferiores a 0,15 ha no han sido incluidos en este estudio, considerándose como cambios de difícil validación, correspondientes en múltiples ocasiones a variaciones de píxeles aislados ligados con fenómenos fenológicos.

4.4. Validación de las zonas detectadas.

Una vez filtrados y eliminados los píxeles aislados se procede a convertir la capa ráster en vector de tipo polígono. Igualmente, a partir de los datos vector se pueden eliminar detecciones menores y zonas de falsos positivos que sean evidentes.



10. Muestra del proceso de detección y validación de la deforestación sobre imagen color verdadero R/G/B

Realizadas estas etapas se pasa a la validación visual de cada una de las detecciones de cambio en la vegetación descartándose los falsos negativos, ya sea por no considerarse anomalías claras o bien porque son debidos a perturbaciones ligadas a la presencia de nubes, bruma o aerosoles. Esta parte del proceso puede ser laboriosa y debe de contar con el entrenamiento y conocimientos necesarios por parte del operador para validar o excluir cada una de las detecciones. En cualquier caso, el trabajo estimado en esta fase resulta menos complejo y con menores posibilidades de error que las propias a una clasificación supervisada o no supervisada.

Como soporte a validación de cada una las detecciones de cambio se han utilizado tanto las imágenes *Planet* por un lado, así como las imágenes de alta resolución provistas por *Google* o en el entorno de *Arcgis* como mapa de base, las cuales ofrece en general una visión actualizada de la ocupación de usos del suelo.

Para facilitar la eliminación de falsos positivos o de cambios de la vegetación fuera de las zonas de bosque se ha creado una capa de Tipo Bosque y No bosque. Así pues, todas las alertas que no estén en el interior de la zona delimitada como bosque serán excluidas ya que corresponderán con cambios en zonas arbustivas o asociados a cultivos.

4.5. Datos de deforestación Global Forest Change

Como información secundaria y a modo de referencia se ha atendido a los datos elaborados en el marco del proyecto *Global Forest Change 2000–2019*.

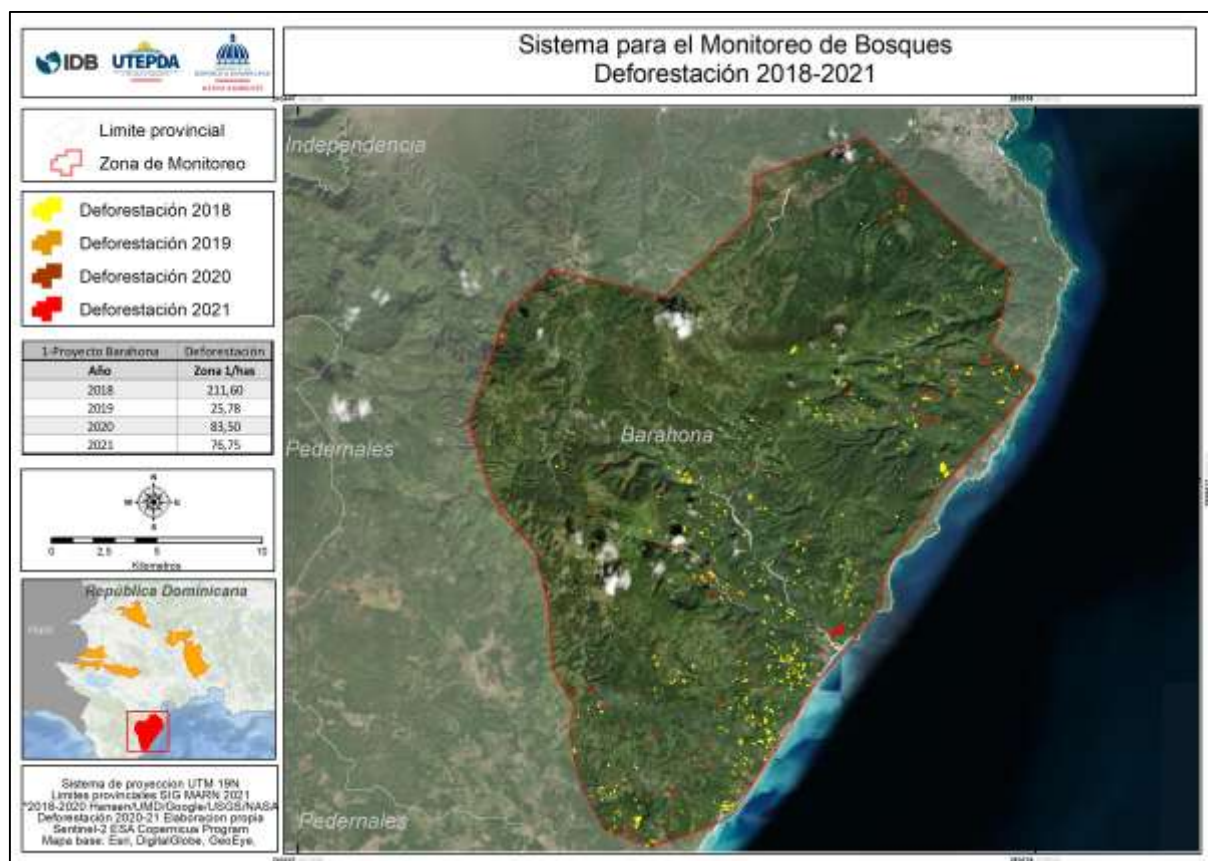
La intención de estudiar estos datos viene dada por atender a la compatibilidad, evaluar su coherencia con la detección de la deforestación elaborada en este estudio para los años 2020-2021. En cualquier caso, y como principal conclusión a su utilización, estos datos deben ser siempre verificados con imágenes multiespectrales correspondientes en las fechas de referencia o bien en imágenes de alta resolución provistas desde la plataforma Esri o Google Earth Engine.

Un primer análisis de estos datos de deforestación incita a pensar que las superficies deforestadas se encuentran sobreestimadas; conteniendo múltiples falsos positivos.

Este estudio nos ha permitido obtener un primer acercamiento a las dinámicas de la deforestación en las zonas de monitoreo. Este conjunto de datos, elaborado por el laboratorio del GLAD (Descubrimiento de análisis de tierras global) de la Universidad de Maryland, Google, USGS, y la NASA, mide las áreas de pérdida de la cobertura arbórea en todas las tierras del mundo a una resolución de aproximadamente 30 x 30 m. Los datos se generaron utilizando imágenes de satélite multiespectrales del Landsat 5 de temática cartográfica (TM), el Landsat 7 plus de temática cartográfica (ETM+), y los sensores de imágenes operacionales de tierra del Landsat 8 (IOT). Las observaciones claras de la superficie de la tierra en las

imágenes de satélite se ensamblaron y se les aplicó un algoritmo de aprendizaje supervisado para identificar por pérdida de la cobertura arbórea de píxeles. Este conjunto de datos se ha actualizado cinco veces desde su creación, y ahora incluye las pérdidas hasta 2020 (versión 1.8). el uso integrado de los datos originales y de la versión 1.8 debe realizarse con precaución.

4.6. Representación de la deforestación para el periodo 2018-2021



11. Mapa de la deforestación para la zona de monitoreo 1- Proyecto Barahona, periodo 2018-2021

4.7. Datos de deforestación para el periodo 2018-2021

Año	Zona 1/has	Zona 2/has	Zona 3/has	Zona 4/has	Zona 5/has	Zona 6/has	Zona 7/has
2018	211,60	77,46	17,20	5,31	23,02	4,15	77,93
2019	25,78	29,52	11,26	12,70	2,42	19,92	55,37
2020	83,50	10,25	2,12	11,10	4,69	6,63	46,66
2021	76,75	24,36	9,67	9,69	5,11	9,46	37,57

Tabla 3. Superficie deforestada por zona para el periodo 2018-2021

5. Proceso de Elaboración de la clasificación de Bosque/No Bosque

Como uno de los productos clave se ha identificado la elaboración de la clasificación de Bosque y No bosque en cada una de las zonas de Monitoreo, sirviendo esta como una línea de base que permita aproximarnos a estimar la superficie de bosques existentes.

Como ya se ha señalado, la variabilidad climática y la elevada diversidad y tipologías de bosque y vegetación hacen que la clasificación multitemporal de bosque sea una tarea compleja, por ello para elaborar esta cartografía se ha partido inicialmente de la clasificación del año 2010 de bosque elaborada en el estudio de Global Forest Change 2000-2020. Esta clasificación de bosque en esa fecha, elaborada con el satélite Landsat-8, resulta una clasificación que sin duda contiene los boques actuales existentes y un punto de partida para la realización de la clasificación final.

Un estudio pormenorizado de esta capa de información nos permitió identificar que dentro de ella se incluían además zonas de No Bosque, correspondientes con áreas de cultivo, zonas de suelo desnudo y zonas de vegetación arbustiva y herbácea.

Tomando como base esta información se creó una máscara para excluir de la clasificación todas las zonas externas, para posteriormente realizar una clasificación no supervisada en su interior mediante el algoritmo *ISO Cluster*. De manera general se realizó una primera clasificación con 15 clases, de la cual se fueron extrayendo cada una de las clases identificadas como bosque. En caso de existir cierta confusión para alguna de las clases, fue realizada una nueva iteración del algoritmo para clasificar nuevamente las zonas al interior de la máscara.

5.1. Filtros para la integración de píxeles aislados

A la cobertura obtenida en el proceso de clasificación por umbrales en valores de *NDVI*, se le procede a aplicar un filtro que permita eliminar píxeles aislados, en este caso un filtro mayoritario (*majority filter*) dos veces consecutivas en *ArcGis*. Con esto se busca reemplazar celdas basándose en el valor mayoritario de las celdas contiguas, de manera de eliminar posibles píxeles aislados que generen ruido en la cobertura final. Esta función se empleó considerando dos parámetros: el número de vecinos y el umbral de reemplazo. En cuanto al número de vecinos, se usó un kernell de ocho, es decir, se consideraron todos los vecinos alrededor de un píxel, mientras que en el umbral de reemplazo se usó la opción de mayoría. Dicho, en otros términos, al menos cinco de ocho celdas deben estar conectadas y tener el mismo valor alrededor del píxel para generar un reemplazo de valores, de lo contrario el valor de la celda se mantiene.

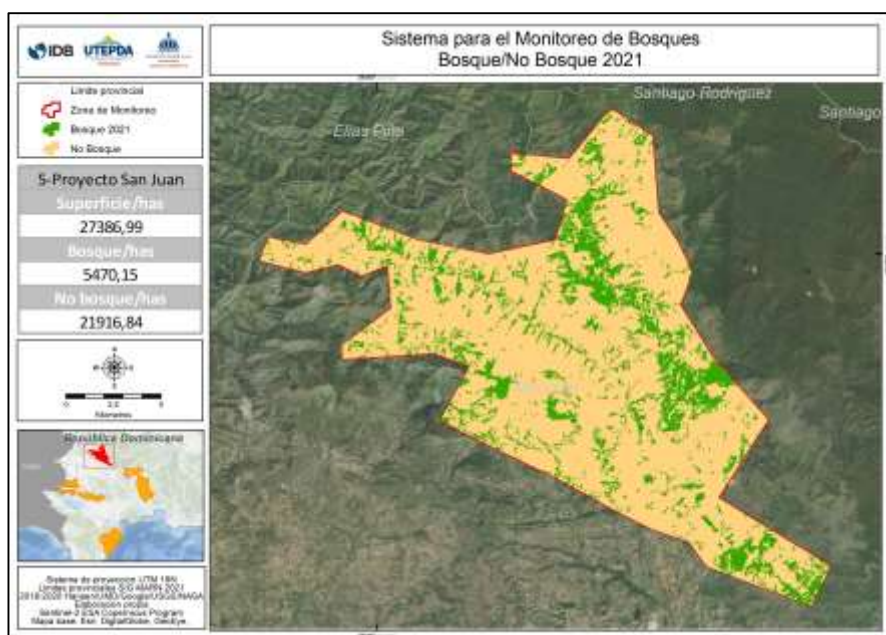
5.2. Área mínima cartografiable

El principio del área mínima cartografiable permite lograr coherencia en la representación espacial y eficiencia en la lectura y utilidad del mapa. El **área mínima cartografiable** es la menor superficie representada en el mapa como un polígono, de tal manera que los polígonos que se representen en el mapa con un área menor a la *AMC* deben ser generalizados asegurando así la legibilidad y la coherencia con la temática representada.

En este caso y tomando definición oficial de Bosque, en la que se excluyen de la misma todas aquellas superficies inferiores a 0.5 Hectáreas. Así pues, todos los polígonos identificados como bosque inicialmente con una superficie inferior a esta área fueron eliminados de la representación cartográfica.

En todo caso, y como se presentó anteriormente, con vistas a tener una mayor capacidad para la detección de cambios menores en la vegetación se incluyeron todas las pérdidas de bosque superiores a 0,15 hectáreas.

5.3. Cartografía de las zonas de Bosque/No Bosque



12. Mapa de Bosque/ No Bosque para la zona de monitoreo 5- Proyecto Sabaneta

5.4. Superficies de bosque No/Bosque 2021

Zonas de intervención	Superficie/has	Bosque/has	No bosque/has
1-Proyecto Barahona	51,616.65	32,077.51	19,539.14
2-Proyecto Bahoruco	20,050.97	85,66.27	11,484.70
3-Proyecto Independencia	10,647.87	3,203.23	7,444.64
4-Proyecto Hondo Valle	15,358.39	3,262.75	12,095.64
5-Proyecto Sabaneta	27,386.99	5,470.15	21,916.84
6-Proyecto Los Frios	7,538.81	2,576.96	4,961.85
7-Proyecto Las Cañitas	53,812.29	23,109.13	30,703.16
Total	186,411.97	78,266.00	108,145.97

Tabla 4. Superficie de Bosque/No Bosque año 2021

6. Validación y precisión de la cartografía

Para estimar la precisión de la clasificación llevada a cabo en los mapas de Bosque y No Bosque propone en esta metodología la realización de dos indicadores estadísticos como método de aproximación objetiva a la validación de la cartografía. Los indicadores de exactitud global y el coeficiente de kappa, permiten obtener una valoración estadística utilizando la comparación de la cartografía con datos de verdad en terreno, o en este caso a través de su validación mediante imágenes satélite de alta resolución.

Este ejercicio permite elaborar una matriz de confusión para estimar puntos clasificados correctamente, así como los errores de omisión y de comisión, falsos negativos y falsos positivos respectivamente.

6.1. Muestreo y puntos de control

El diseño de muestreo se refiere al protocolo para la selección del subconjunto de las unidades espaciales (píxeles o puntos de control) que serán la base para la medición de exactitud. La recomendación principal es que el diseño de muestreo debe ser probabilístico (Olofsson et. al 2014). Este es definido en función de probabilidades, referida a la probabilidad en la que cada unidad espacial es incluida en la selección aleatoria (Stehman,2000, citado por Olofsson et. al 2014).

Una variedad de diseños de muestreo probabilístico es aplicable para la medición de exactitud y la estimación del área, siendo los diseños comúnmente más utilizados: simple aleatorio, estratificado aleatorio y sistemático (Stehman, 2009, citado por Olofsson et. al2014). El diseño de muestreo que se llevó a cabo para la evaluación de la exactitud temática fue el simple aleatorio.

Para ello, primeramente, se estimó un total de puntos de control en función a la superficie total de monitoreo y al número de zonas, de un total de 1.000 puntos de control.

Los puntos de control fueron distribuidos de manera aleatoria teniendo en cuenta el porcentaje de superficie de cada una de las 7 zonas de monitoreo con respecto al total, así como el porcentaje de Bosque y No Bosque.

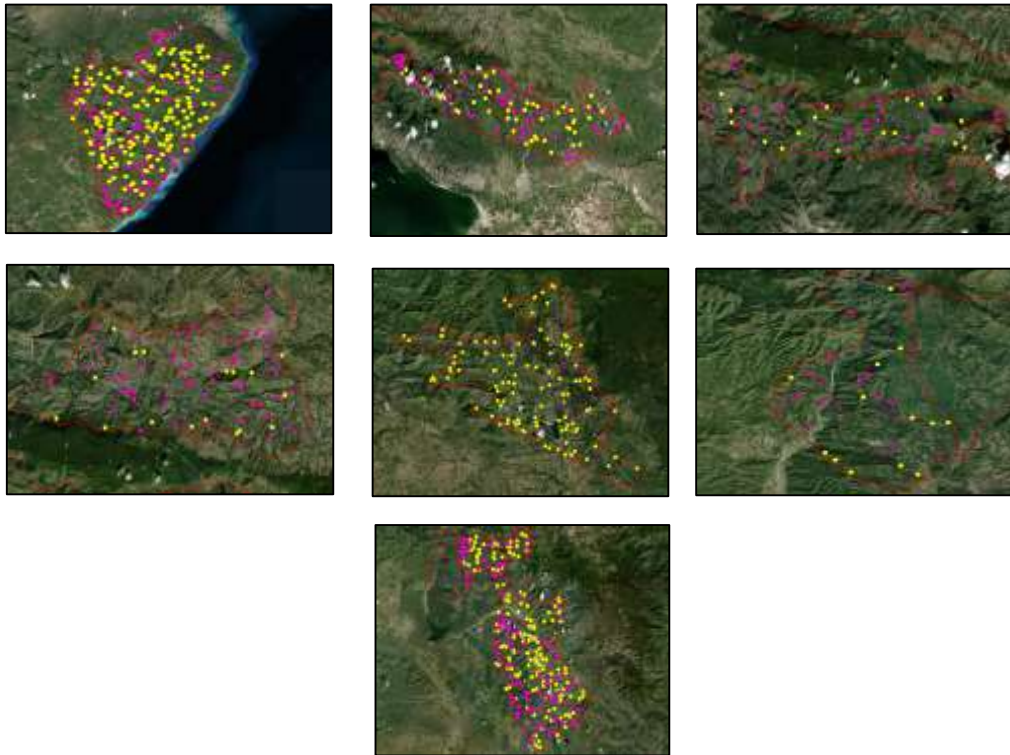
	% total	Bosque	No Bosque	Total Puntos de Control
1-Proyecto Barahona	28	86	53	277
2-Proyecto Bahoruco	11	23	31	108
3-Proyecto Independencia	6	9	20	57
4-Proyecto Hondo Valle	8	9	33	82
5-Proyecto Sabaneta	15	16	58	147
6-Proyecto Los Frios	4	7	13	40
7-Proyecto Las Cañitas	29	64	81	289
Total Puntos de Control	100	212	289	1000

Tabla 5. repartición de números de puntos de control

A partir del cuadro precedente se estimó el número de puntos de control a evaluar para cada clase del mapa de cobertura de bosque para el año 2020 con imágenes Sentinel 2, y por el cual se establecieron los datos a utilizar como “verdad terreno” para la validación.

Para la interpretación visual de los puntos de control se utilizaron, como “verdad terreno”, imágenes de alta resolución de Google Earth, Esri y las imágenes Planet. Como criterio general, siempre se trató de elegir aquella imagen cuya fecha fuera lo más cercana posible a la fecha de las imágenes de Sentinel 2 utilizadas para la elaboración del mapa.

Con el software Arcgis se generaron de manera aleatoria los puntos de control de Bosque y No Bosque, procediéndose a la validación de los mismos, estimándose su correcta u incorrecta ubicación en función a las imágenes de alta resolución.



13 Puntos de control para la validación y cálculo de la precisión de los mapas de Bosque/No Bosque. En color violeta los puntos de validación para zonas de Bosque y amarillo los puntos de validación para zonas de No Bosque.

La evaluación de cada uno de los puntos permitió generar la información necesaria para construir la matriz de confusión y estimar la exactitud temática del mapa

	Bosque	No Bosque	Totales Σ
Bosque	374	51	425
No Bosque	45	530	575
Totales Σ	419	581	1000

Tabla 6. Matriz de confusión para los mapas de Bosque/No Bosque

Como se observa en la tabla anterior 374/425 puntos de control de la clase Bosque fueron bien clasificados, mientras que para la clase No bosque 530/575 estuvieron correctamente clasificados.

A partir de la tabulación cruzada entre las clases del mapa y los puntos validados (matriz de confusión) se pueden calcular la exactitud global de los mapas

La exactitud Global, se obtiene dividiendo el número total de puntos correctamente representados (diagonal) en el mapa por el número total de puntos de verificación y expresándolo como porcentaje. En nuestro caso:

$$(904 / 1000) * 100 = 90,4\% \quad \text{Exactitud global} \quad 90,40$$

6.2. Coeficiente de Kappa

Coeficiente de Kappa es la proporción de coincidencias obtenidas en un producto cartográfico sustrayendo aquellos generados de forma fortuita. Es una medida de la diferencia entre la exactitud lograda en la clasificación automatizada y la exactitud de lograr una clasificación correcta con una clasificación visual (con imágenes de alta resolución).

La fórmula para la obtención del coeficiente de kappa se presenta a continuación.

$$K = \frac{(Po - Pe)}{(1 - Pe)}$$

Siendo:

Po = Número de aciertos/ Número total de clases

Po = (A1 + B2 + C3) / M

Pe = Calculo generado desde la matriz de confusión.

Pe = (EP1 x EU1) + (EP2 x EU2) + (EP3 x EU3)

La interpretación de la calidad del mapa usando Kappa (según la concordancia entre el mapa y la realidad) se realiza a partir de los siguientes criterios:

- Sin concordancia: <0
- Insignificante 0 - 0.2
- Discreta 0.2 – 0.4
- Moderada 0.4 – 0.6
- Sustancial 0.6 – 0.8
- Casi perfecta 0.8 – 1

El coeficiente de Kappa varía entre 0 y 1, en esta evaluación que resultó en **0,80** considerada como **Sustancial** para el conjunto de las zonas del proyecto.

Se presenta a continuación el detalle de la evaluación de la exactitud para cada uno de los mapas de Bosque No Bosque generados en el marco de esta consultoría.

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Total de zonas
Exactitud global	87,0	84,6	94,7	98,8	94,6	85,0	89,6	90,4
Indice Kappa	0,73	0,69	0,88	0,96	0,85	0,70	0,79	0,80

Tabla 7. Precisión global y Coeficiente de kappa

Se aprecia que en términos generales la exactitud que las clasificaciones para la elaboración de los mapas de Bosque y No Bosque se encuentran entorno a parámetros considerados como de una concordancia **sustancial**. Se identifican como mapas de mayor fiabilidad estadística la zona 4-Proyecto Valle Hondo y zona 5-Proyecto Sabaneta han obtenido unos valores de precisión más elevados. Por su lado las cartografías elaboradas para la zona 1-Proyecto Barahona, 2-Proyecto Bahoruco y 6-Proyecto Los Fríos han obtenido los valores de precisión más bajos.

7. Análisis de impactos

Para evaluar el impacto y vinculación de la deforestación con las acciones del proyecto se han tomado en cuenta diferentes aproximaciones de análisis. Por un lado, la evolución de las dimensiones y características para cada una de las zonas de la deforestación propiamente dicha, su impacto en términos de concentración espacial para analizar patrones territoriales de distribución, y finalmente su presencia en el seno de áreas protegidas y su distancia a los Caminos a ser rehabilitados por el proyecto.

- El número de zonas deforestadas se extrae del conteo del total del número de áreas detectadas como deforestadas.
- El total de la superficie deforestada se realiza en función a la suma de la superficie de las áreas deforestadas por zonas de monitoreo.

- El área deforestada de mayor tamaño hace referencia a la deforestación con mayor superficie identificada para cada una de las zonas de monitoreo.
- La superficie deforestada media hace referencia al tamaño medio de las zonas deforestadas por zonas de monitoreo y sobre el total de las medias estimadas.
- La deforestación de áreas protegidas hace referencia a las zonas detectadas como deforestación en el interior del perímetro clasificado como protegido. Una vez identificadas se ha sumado la superficie total de estas zonas deforestadas.
- Para acercarnos a la relación entre caminos rehabilitados y desforestación se han sumado las superficies de las zonas deforestadas a una distancia de 500 m a dichas infraestructuras lineales.
- Para el proyecto de la Hondo Valle se realizó igualmente el análisis en el interior de las parcelas tituladas, atendiendo a la presencia de deforestación.

La tabla que presenta a continuación resume la totalidad de estas informaciones para cada una de las zonas de monitoreo y para el total de las zonas del proyecto.

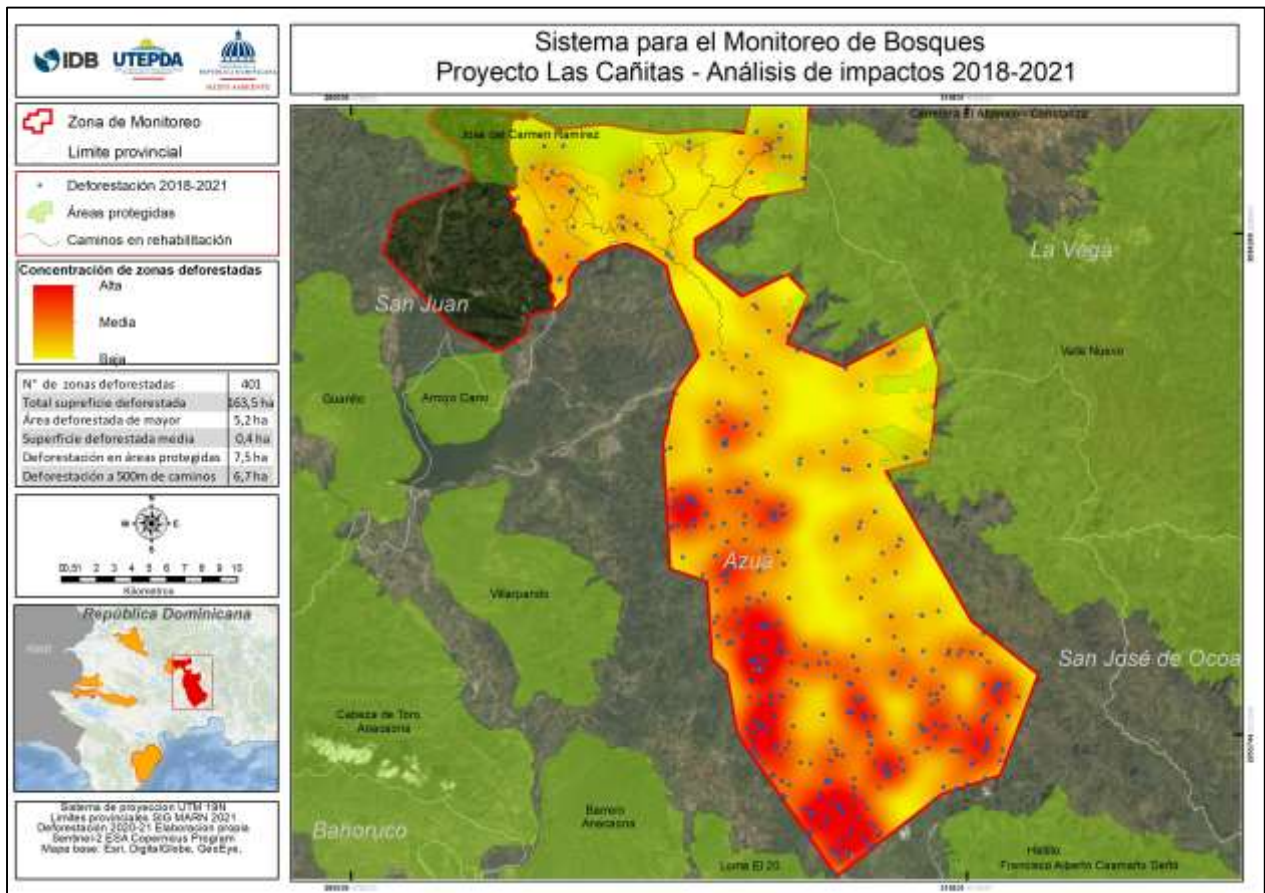
2018-2021								
N° de zonas deforestadas	686	363	100	120	67	92	401	1 829
Total superficie deforestada	397,7 ha	140 ha	40 ha	38 ha	35 ha	38,9 ha	163,5 ha	853,1 ha
Área deforestada de mayor tamaño	11,6 ha	2,3 ha	4,1 ha	2,9 ha	2,5 ha	2,2 ha	5,7 ha	11,6 ha
Superficie deforestada media	0,5 ha	0,3 ha	0,4 ha	0,3 ha	0,5 ha	0,4 ha	0,4 ha	0,4 ha
Deforestación en áreas protegidas	41 ha	0 ha	4,23 ha	2,9 ha	0 ha	9,5 ha	7,5 ha	65,1 ha
Deforestación a 500 m de caminos	68,8 ha	42,3 ha	11,76 ha	16,9 ha	3,9 ha	10,3 ha	6,7 ha	160,6 ha

Tabla 8. análisis de impactos acumulados para el período 2018- 2021

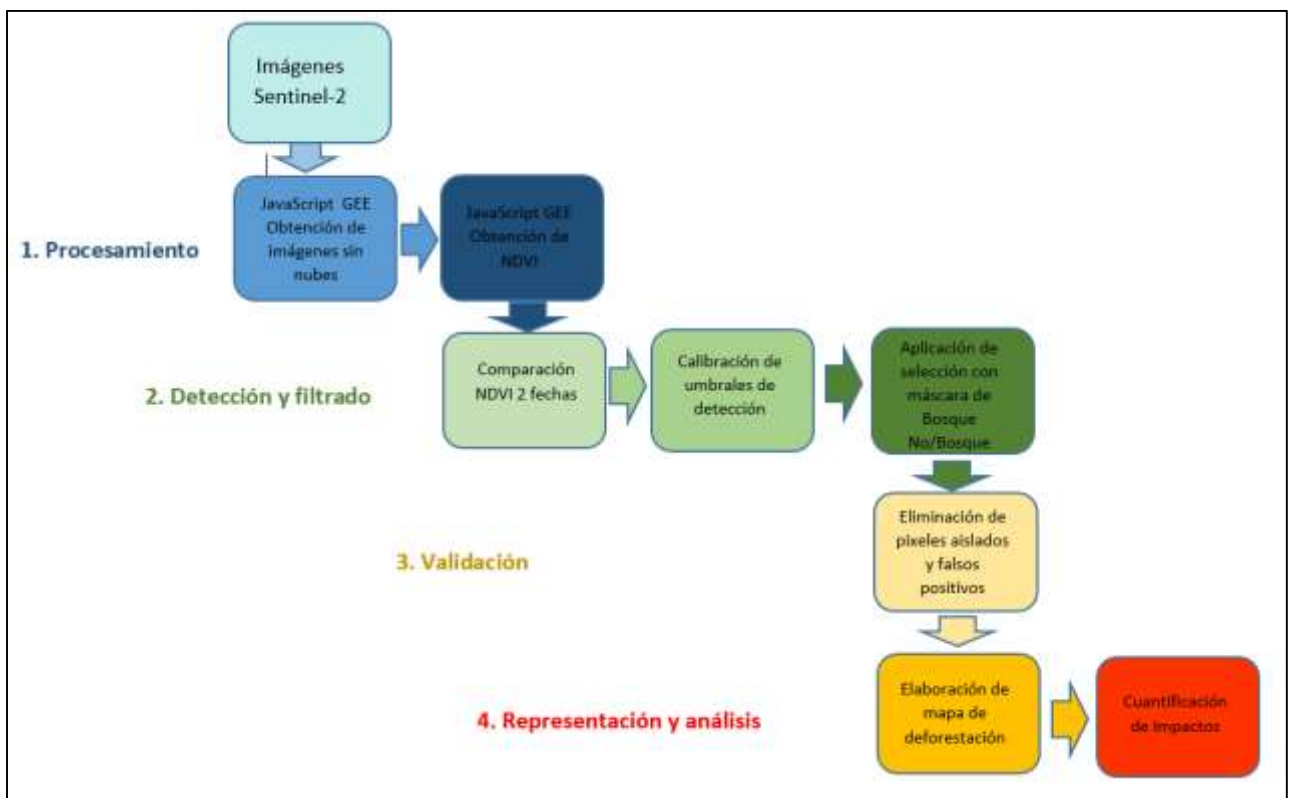
Con vistas a entender los patrones espaciales de ocurrencia de la deforestación y su posible relación con las acciones del proyecto se realizó un análisis de la concentración espacial de estos eventos.

Así, se elaboraron los mapas de análisis de Kernel o “zonas de calor” en los que se agruparon las zonas con mayor presencia de puntos de deforestación, otorgando una gama de colores en función de la concentración elevada, media o baja, tomando en cuenta los datos propios de cada una de las zonas.

Este análisis permite establecer zonas sensibles y particularmente afectadas por los cambios de la cobertura forestal.



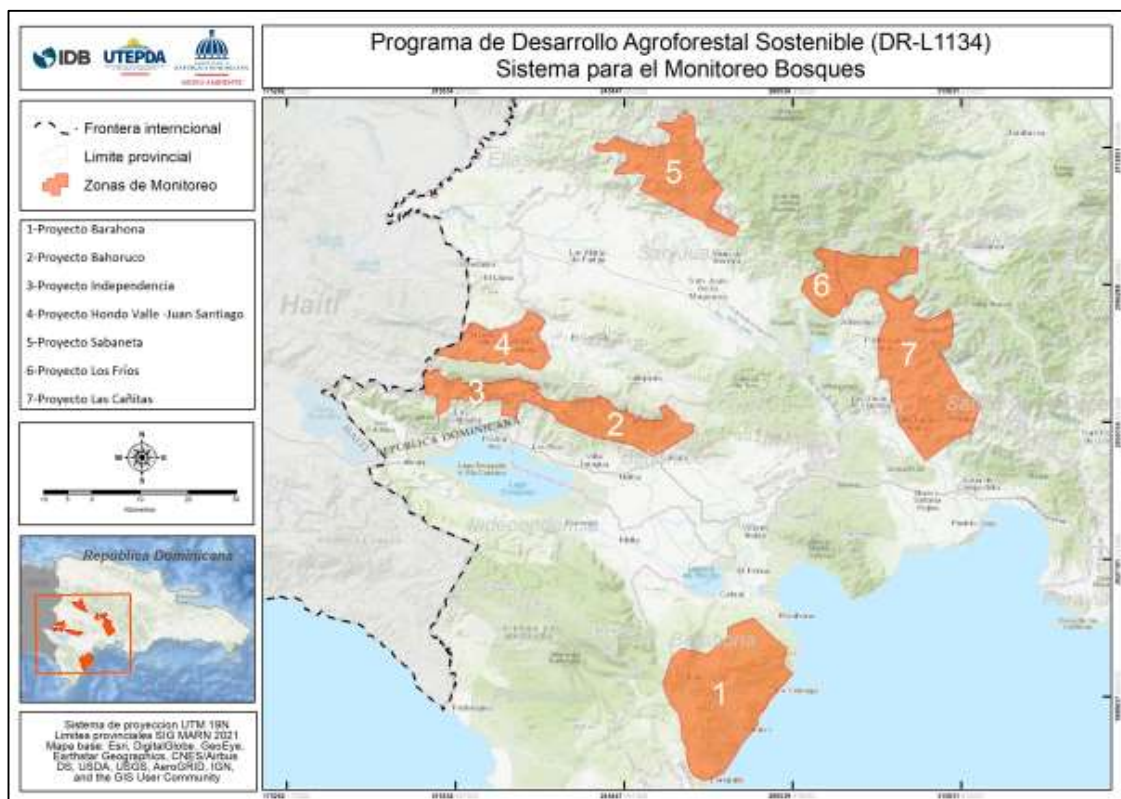
14 Mapa de análisis de impactos para la Zona 7- Proyecto Las Cañitas



15. Etapas del geoprocesamiento

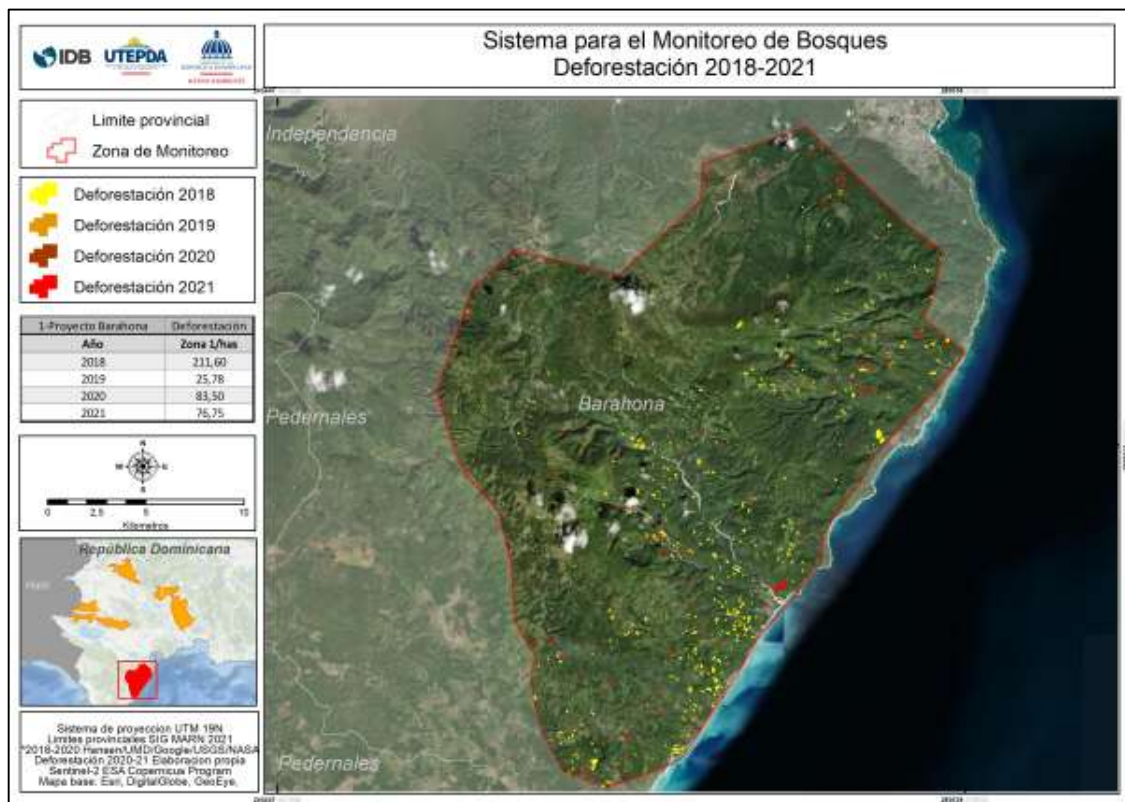
8. Anexos

8.1. Mapa general

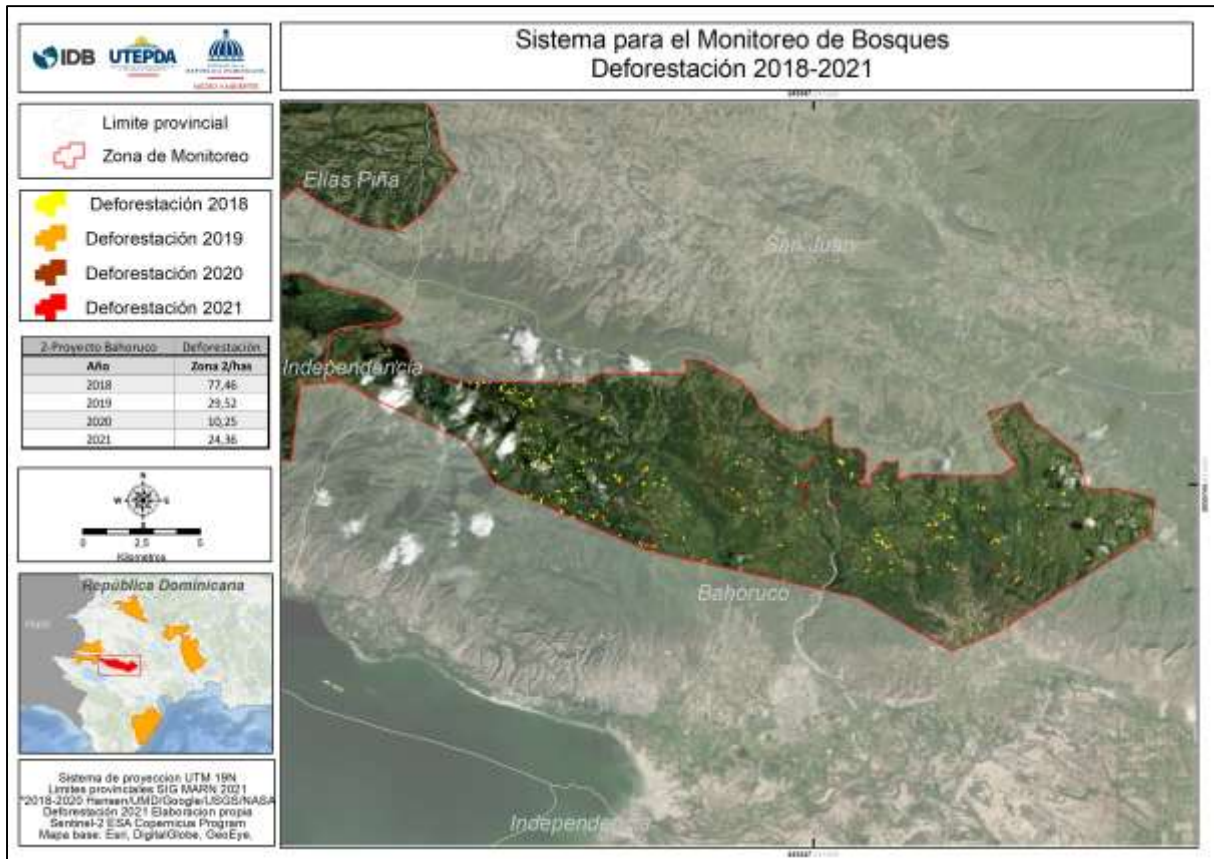


8.2. Mapas de deforestación 2018-2021

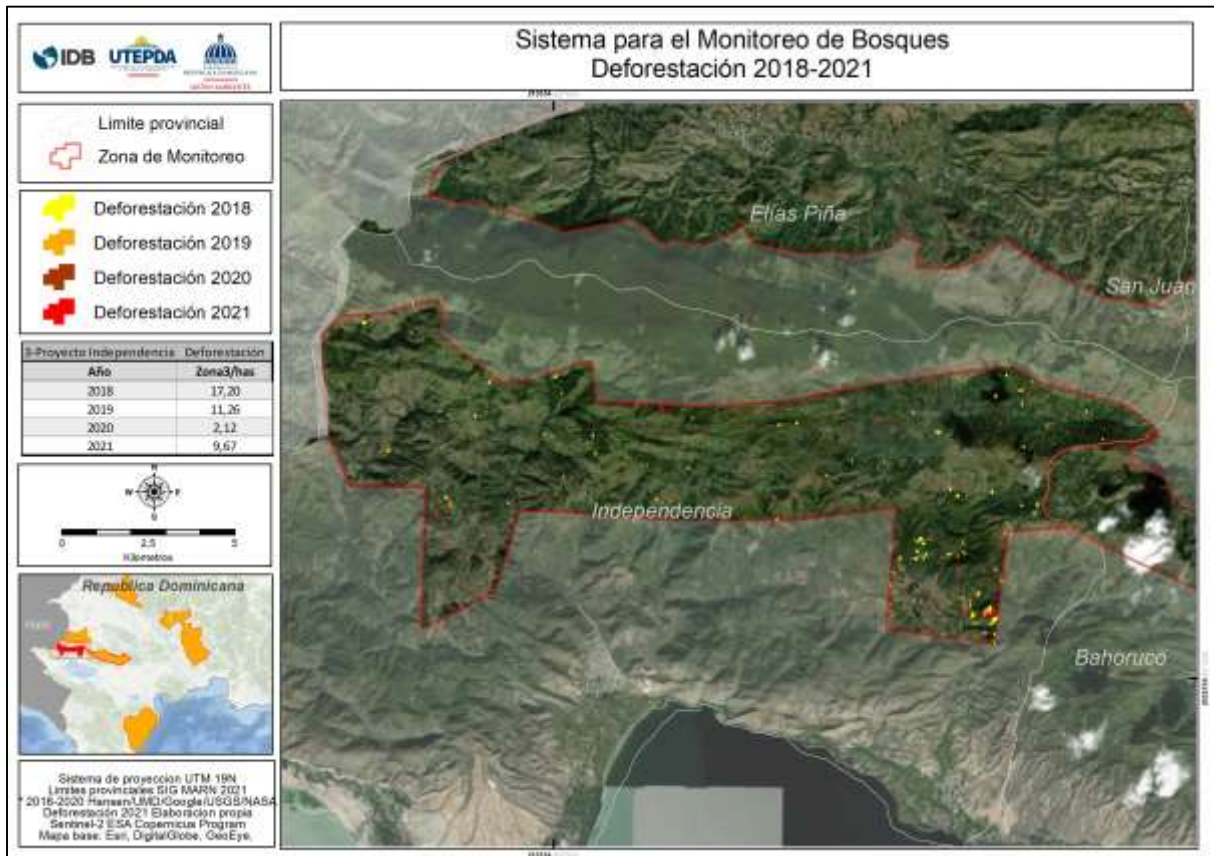
Zona 1-Proyecto Barahona



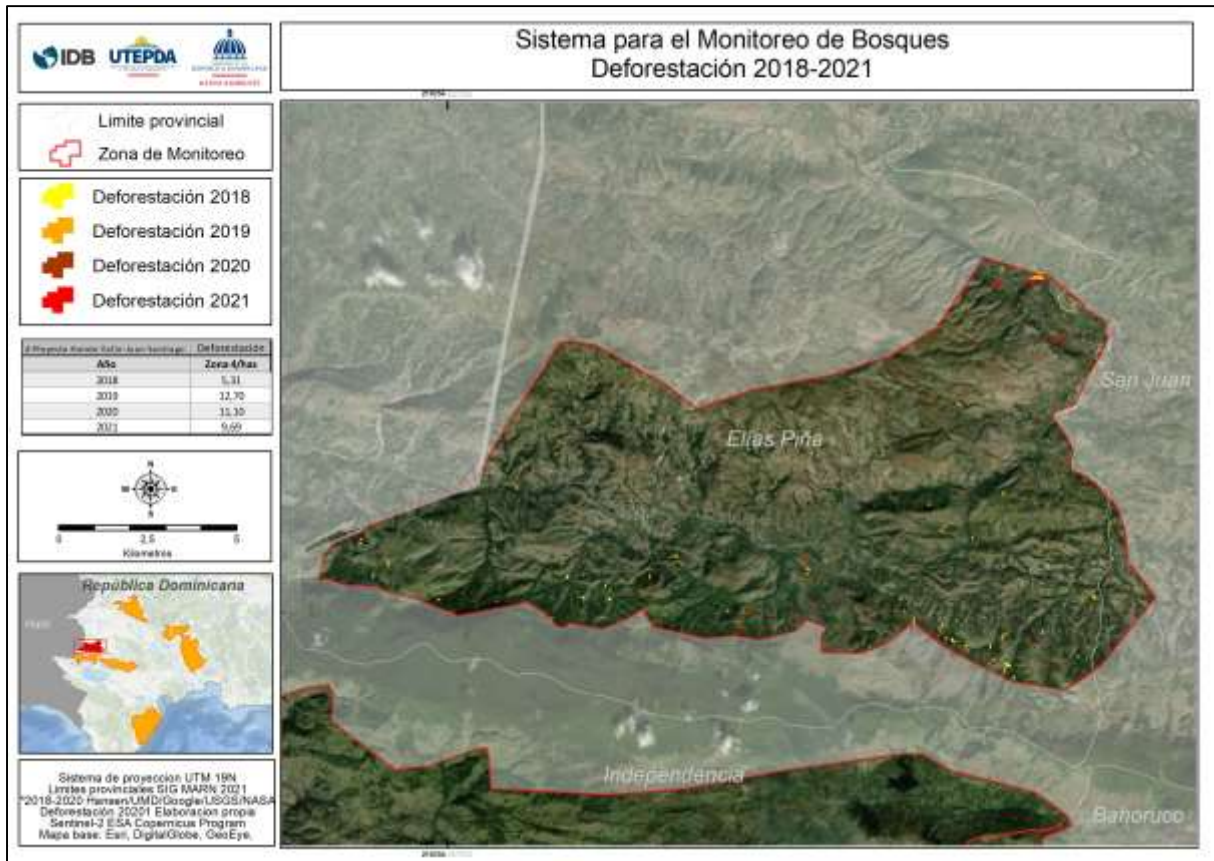
Zona 2-Proyecto Bahoruco



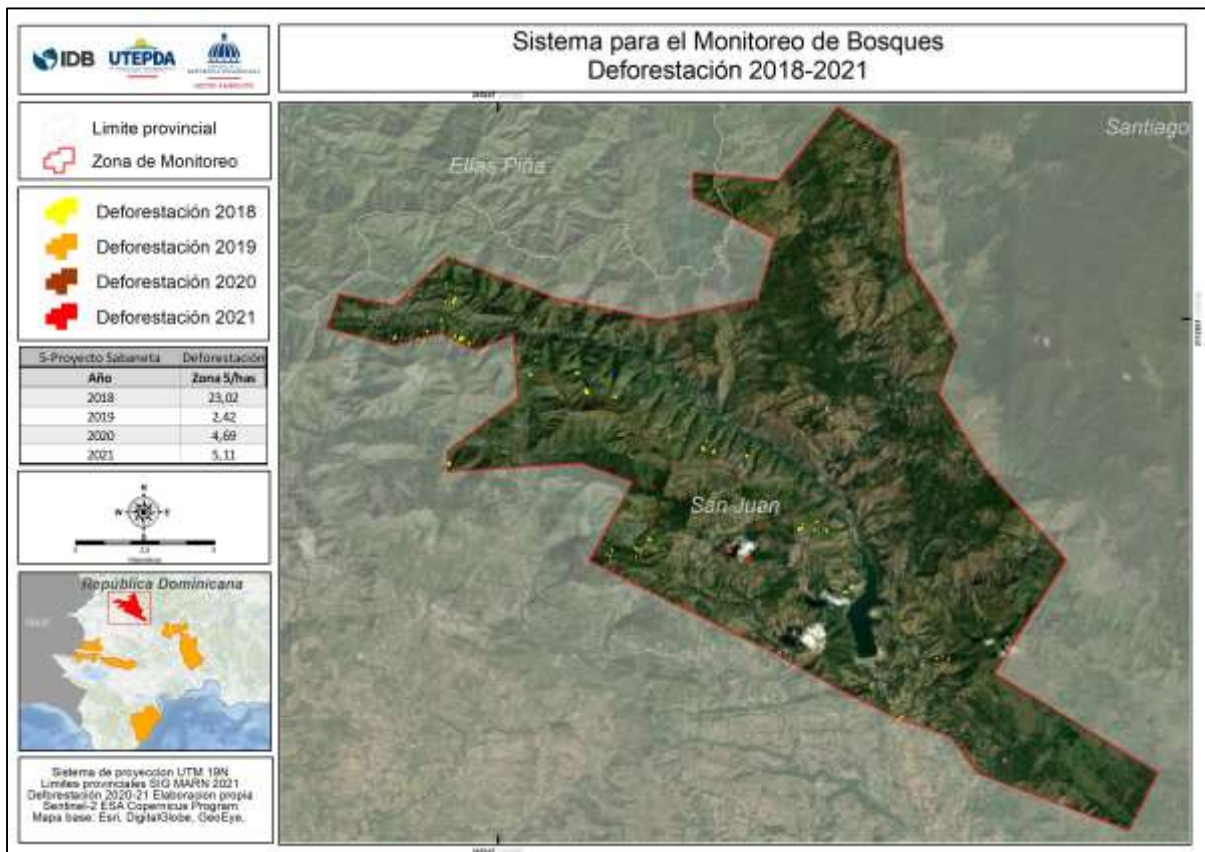
Zona 3-Proyecto Independencia



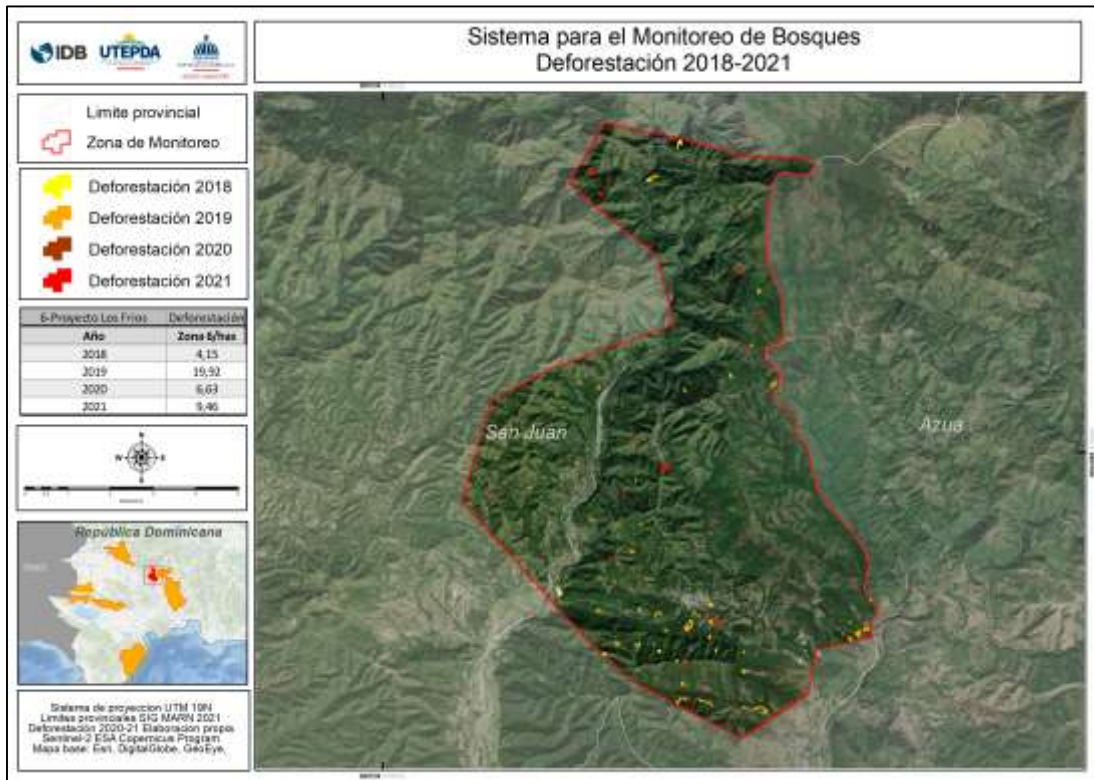
Zona 4 -Proyecto Hondo Valle- Juan Santiago



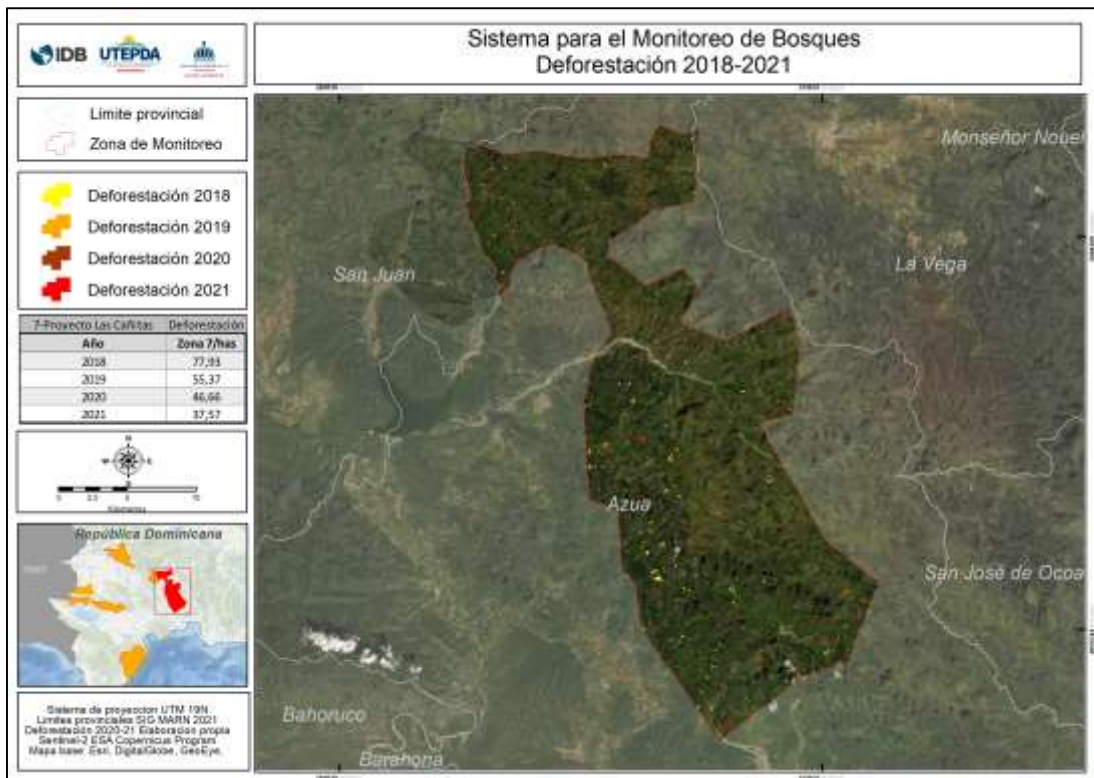
Zona 5- Proyecto Sabaneta



Zona 6-Proyecto Los Fríos

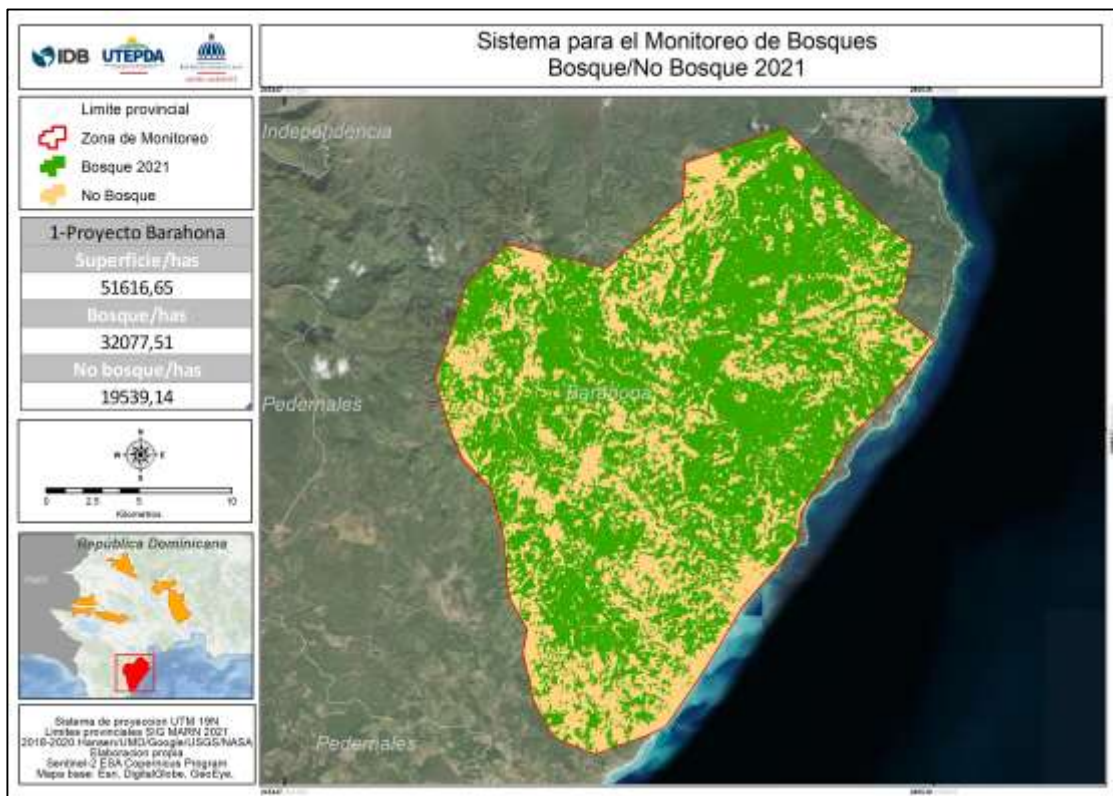


Zona 7- Proyecto Las Cañitas

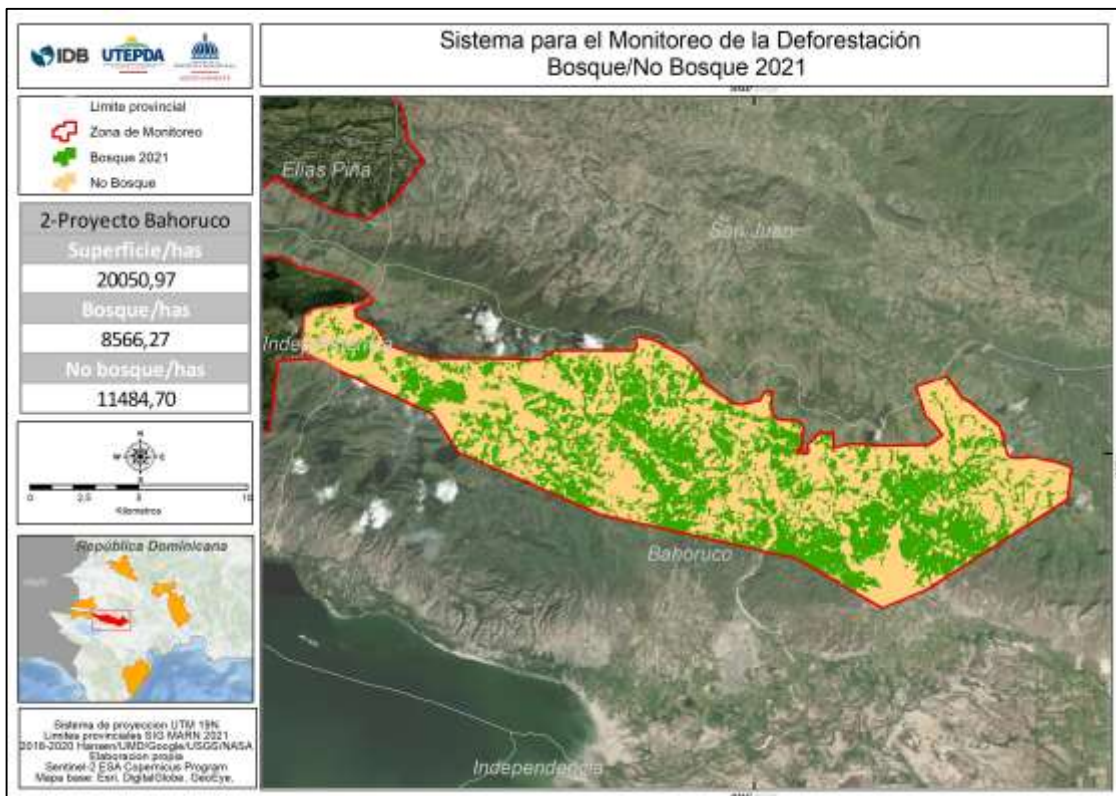


8.3. Mapas de Bosque / No Bosque

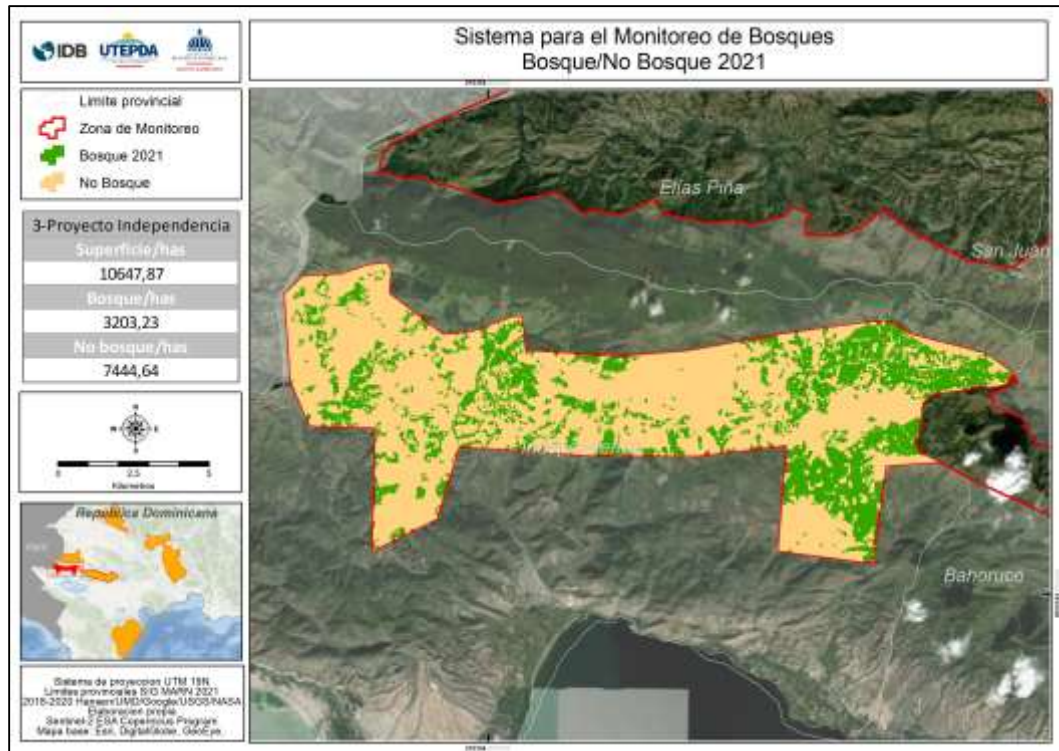
Zona 1-Proyecto Barahona



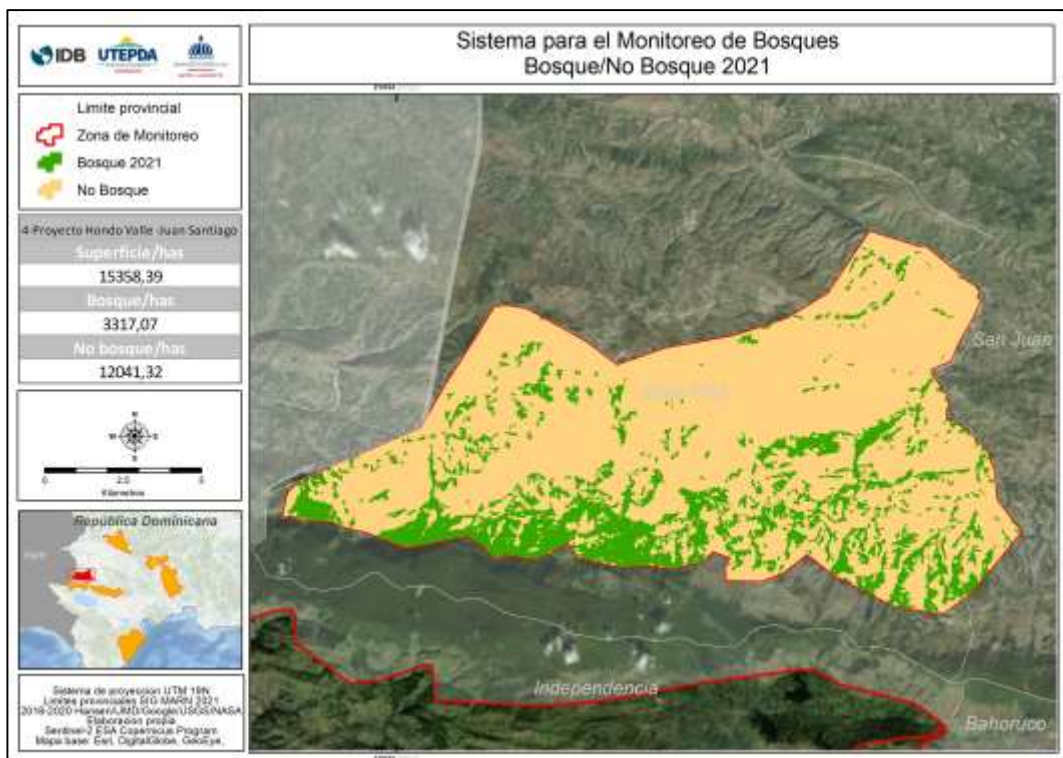
Zona 2-Proyecto Bahoruco



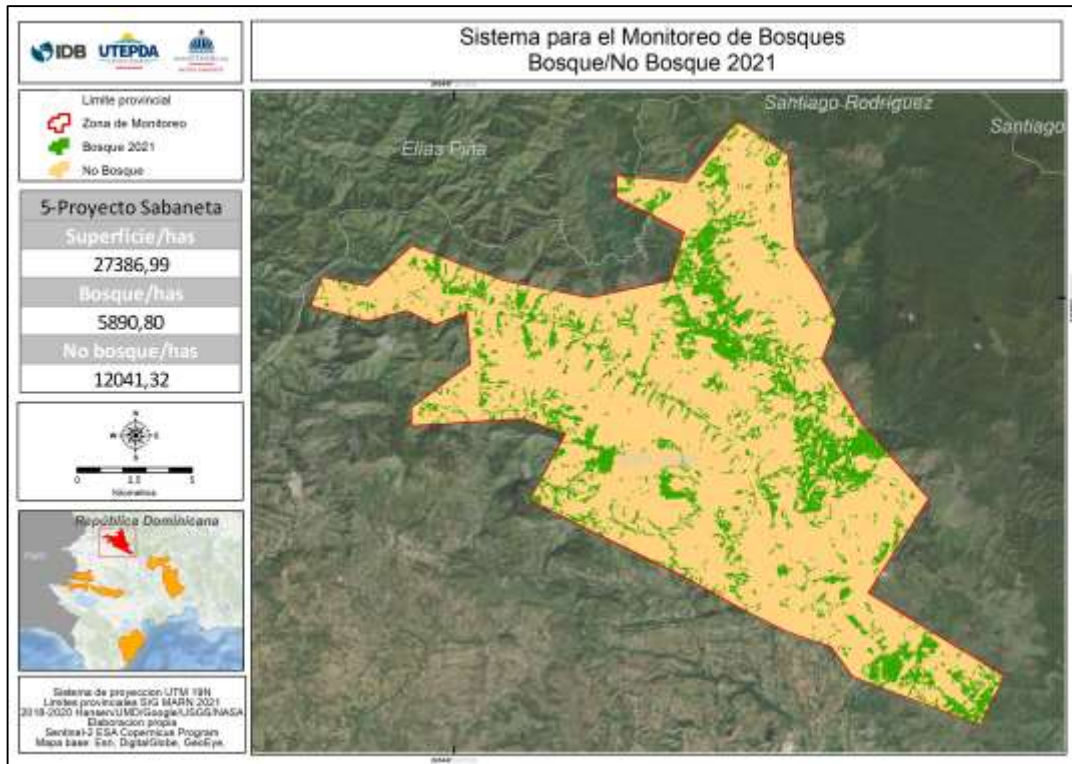
Zona 3-Proyecto Independencia



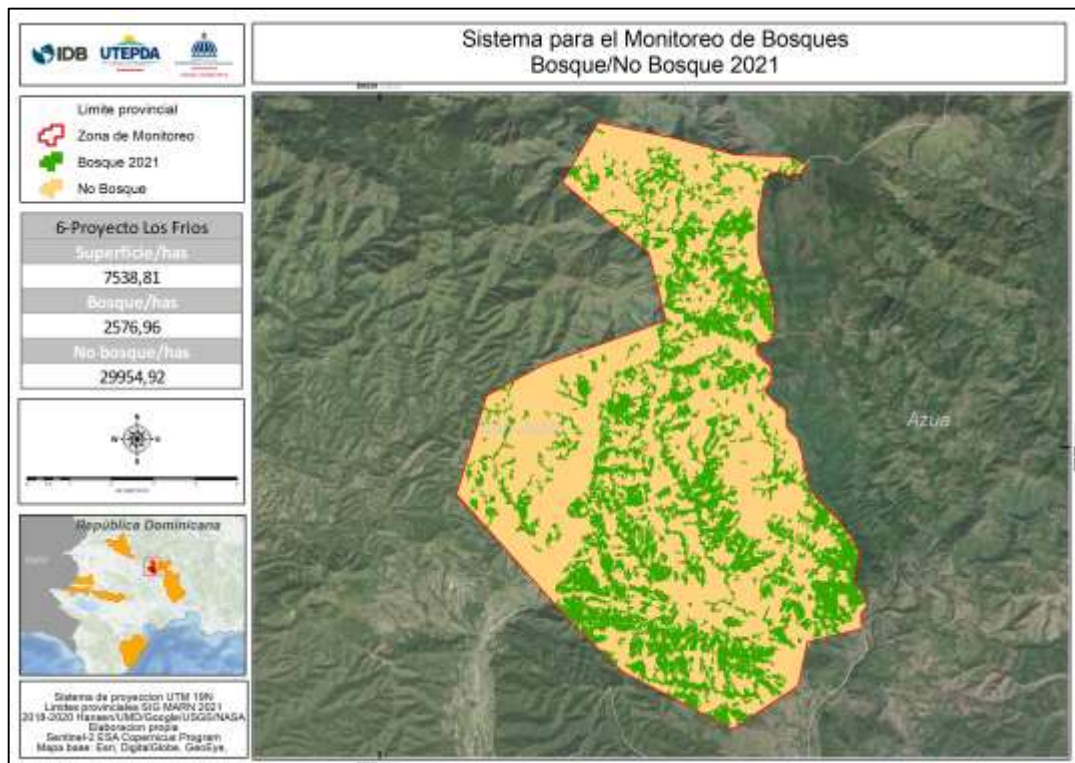
Zona 4-Proyecto Hondo Valle-Juan Santiago



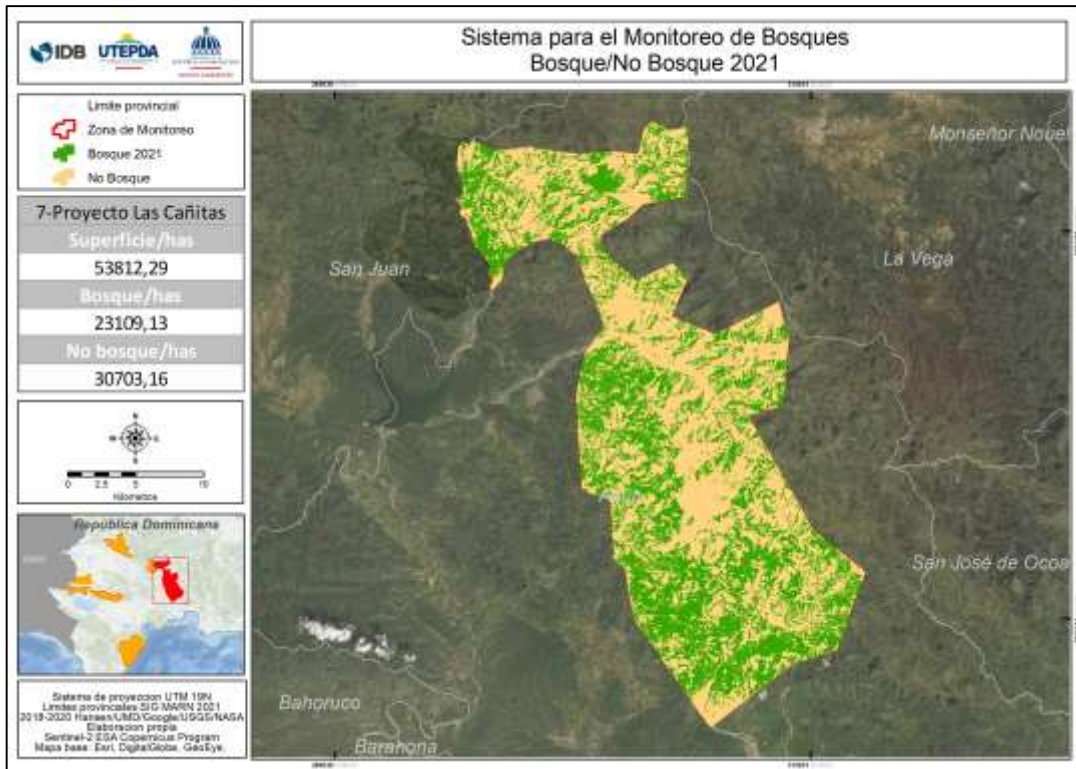
Zona 5-Proyecto Sabaneta



Zona 6- Proyecto Los Fríos

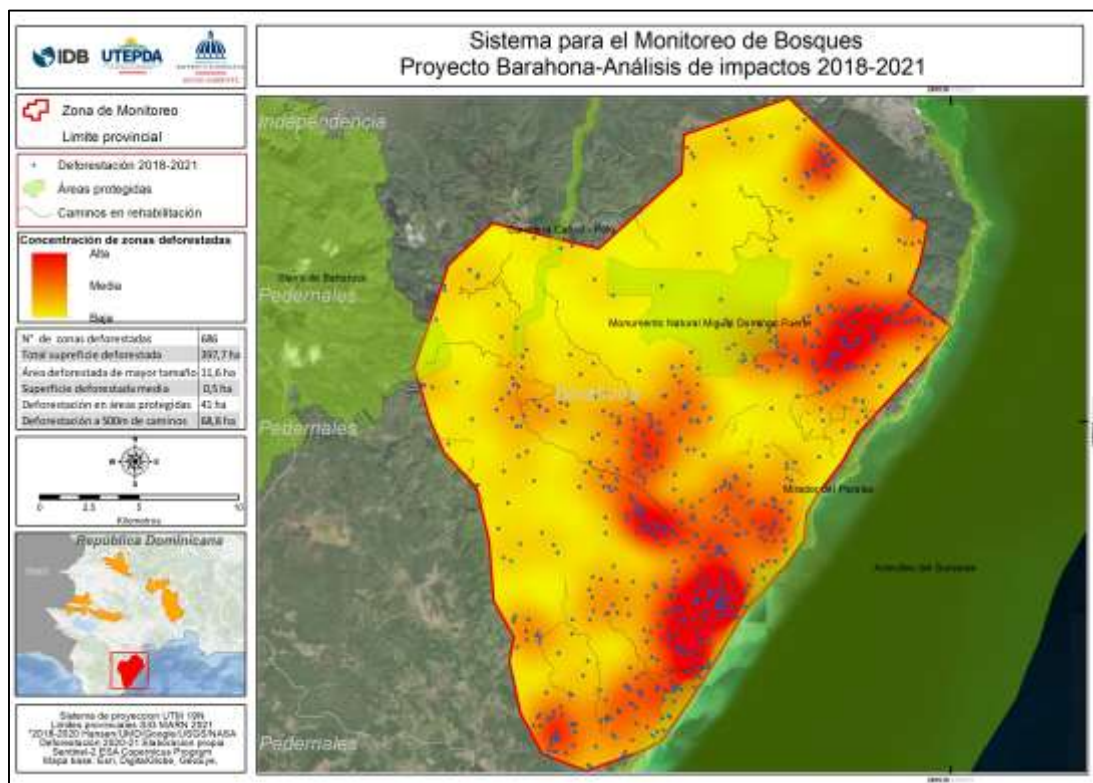


Zona 7- Proyecto Las Cañitas

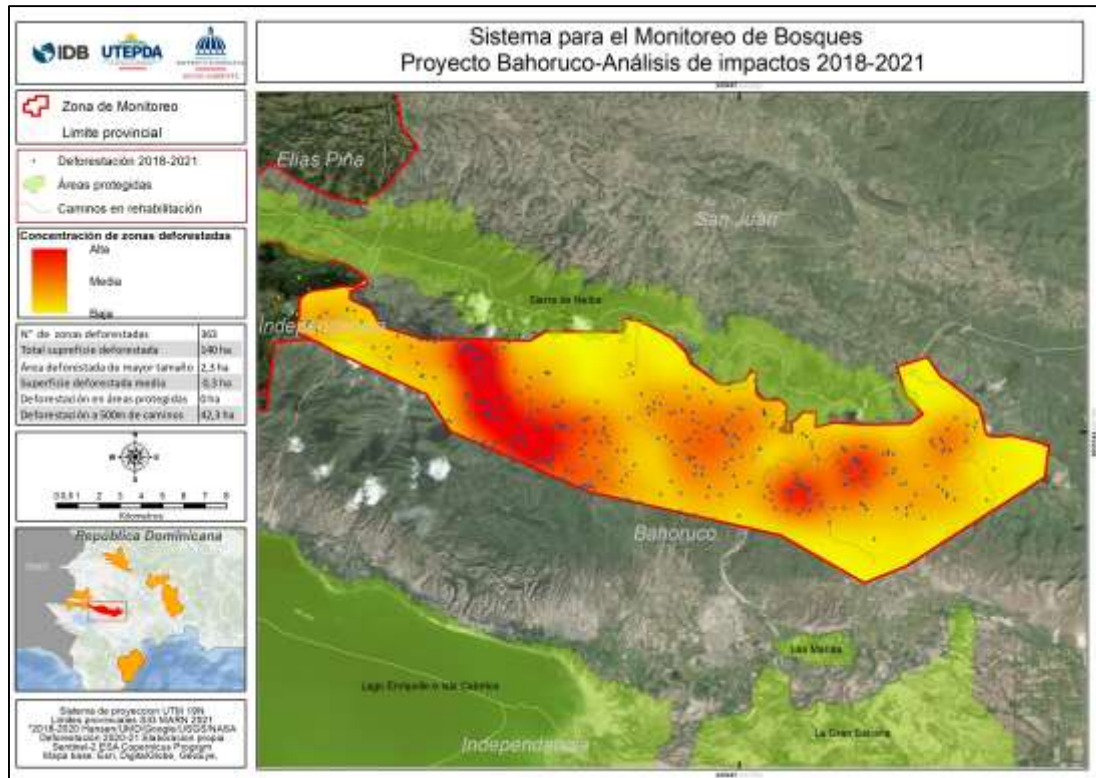


8.4. Mapas de evaluación de impactos 2018-2021

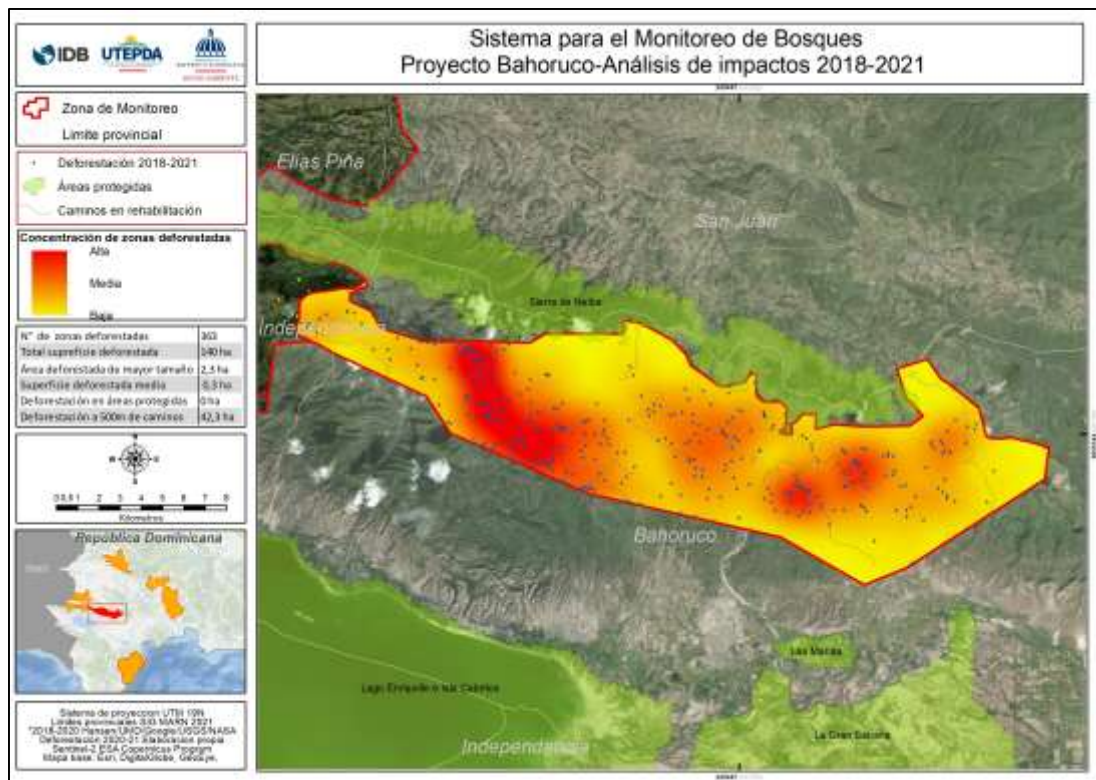
Zona 1-Proyecto Barahona



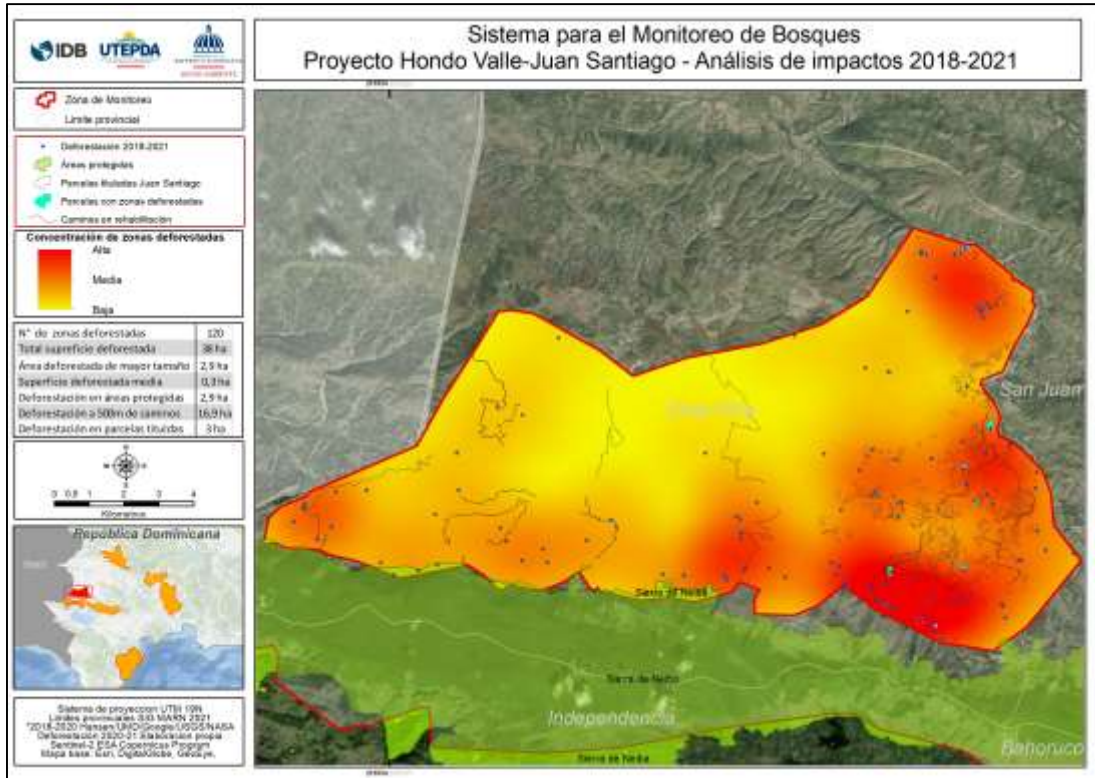
Zona 2-Proyecto Bahoruco



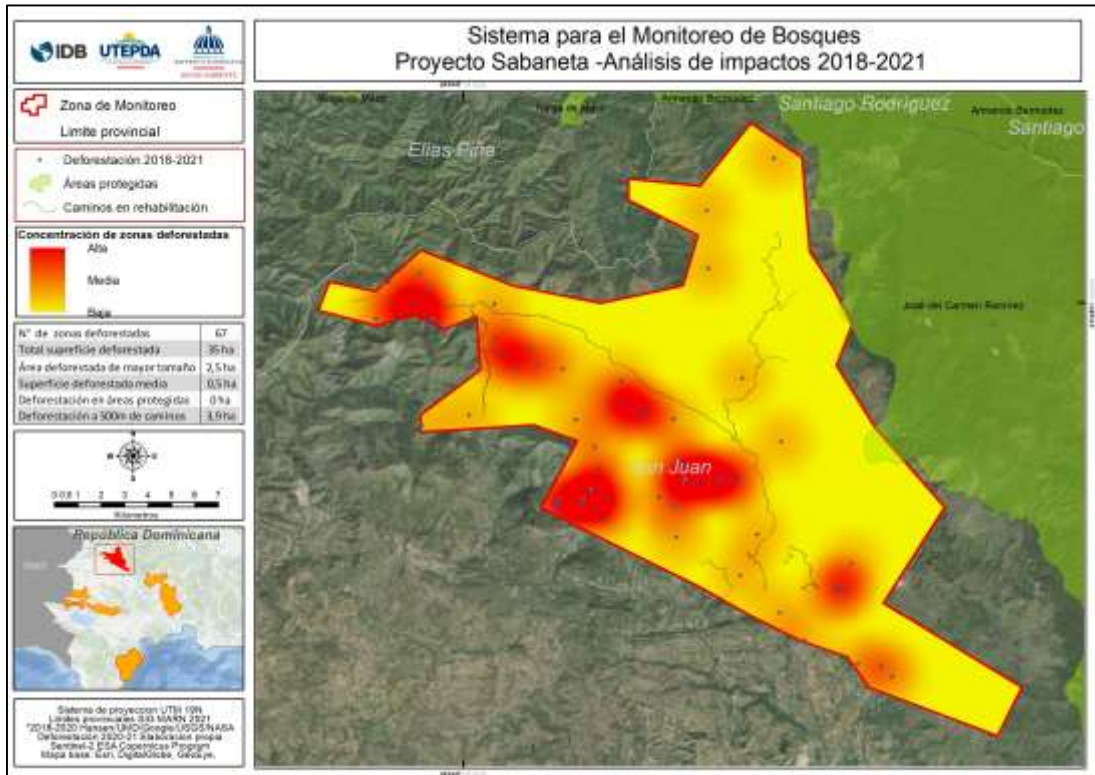
Zona 3-Proyecto Independencia



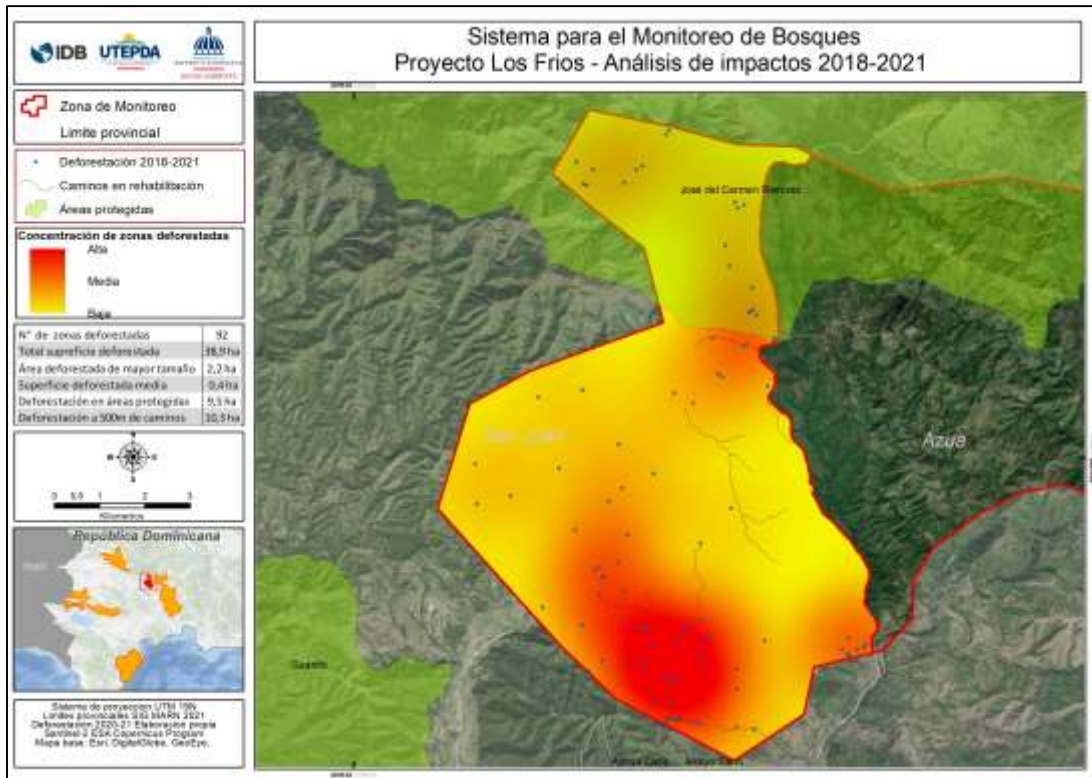
Zona 4-Proyecto Hondo Valle-Juan Santiago



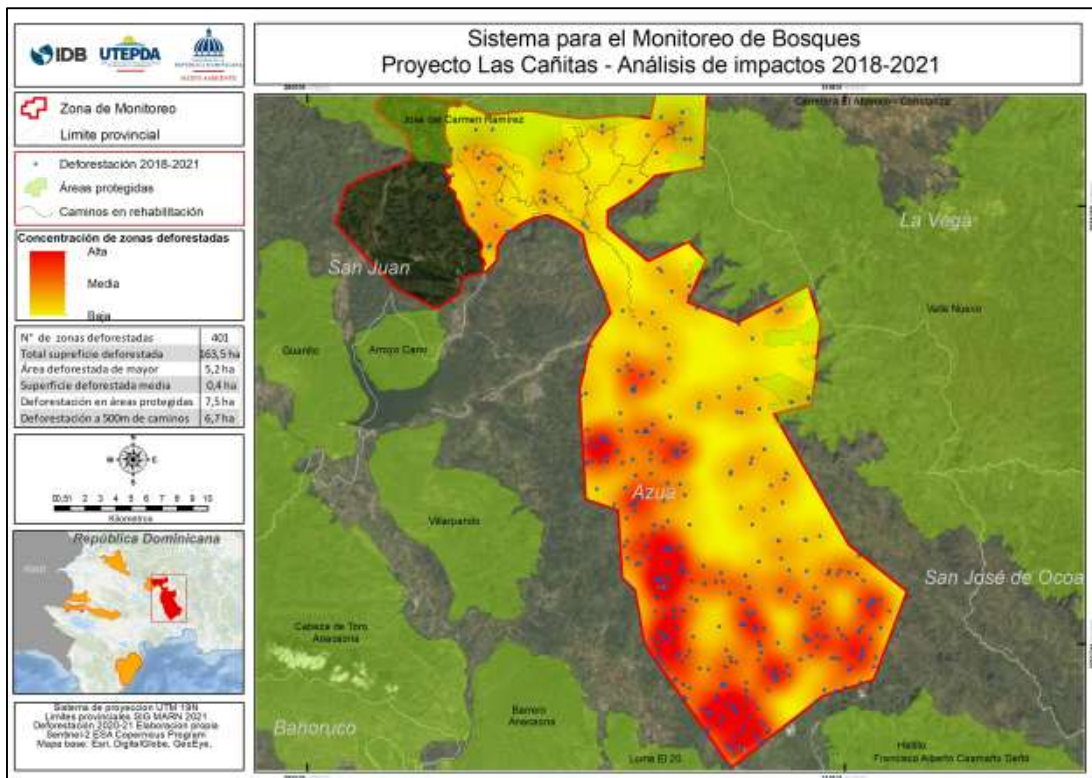
Zona 5-Proyecto Sabaneta



Zona 6- Proyecto los Fríos



Zona 7- Proyecto Las Cañitas



8.5. Listado de parcelas tituladas afectadas por deforestación

TEMPORAL	DESIGNACION TEMPORAL V	NOMBRE COM	CEDULA	ORIGEN	PARCELAS	D.C.	LUGAR	MUNICIPIO	PROVINCIA	TOPOGRAFO	AREA
453	2,0267E+11	453 RAFAEL ELIJIO MONTERO ROA	7500056010	PDA			3 CAÑADA DE CILANTRO	JUAN SANTI/ELIAS PIÑA	WR		27146.880000
885	2,0269E+11	885		BA	620		2 SABANA CUNA	JUAN SANTI/ELIAS PIÑA	FM		3211.48
119	2,0274E+11	119 MARTIN MONTERO AMABLE	7500059972	PDA	1		3 MADRE VIEJA	JUAN SANTI/ELIAS PIÑA	PL		5808.1
144	2,0274E+11	144 RAFAELA MONTERO AMADOR	7500075960	PDA	1		3 LOS PALMARITOS	JUAN SANTI/ELIAS PIÑA	WR		6205.87
207	2,0275E+11	207 BALERIANA OBISPA MONTERO	7500057984	PDA	42		3 SABANA DE CHEN	JUAN SANTI/ELIAS PIÑA	DM		8100.35
655	2,0277E+11	655 MATILDE VICENTE MONTERO	7500060673	PDA	42		3 MAJAGUALITO	JUAN SANTI/ELIAS PIÑA	PL		17856.21
469	2,0265E+11	469 URSULA MONTERO	7500049213	PDA			3 LAS CANAS	JUAN SANTI/ELIAS PIÑA	DM		30936.47
630	2,0277E+11	630 MILQUIADES DE LA CRUZ	7500057265	PDA	42		3 LA TINAJA	JUAN SANTI/ELIAS PIÑA	DM		42575.64
569	2,0276E+11	569 FRANCIA		BA	42		3 LA TINAJA	JUAN SANTI/ELIAS PIÑA	JL		15576.24

8.6. Código JavaScript para la producción de imágenes Sentinel-2 sin nubes y NDVI en Google Earth Engine.

```
// Función para enmascarar nubes de imagen Sentinel 2 a partir de banda QA
////////////////////////////////////

function maskS2clouds(image) {
  var qa = image.select('QA60');
  // Bits 10 y 11 son nubes y cirrus, respectivamente
  var cloudBitMask = 1 << 10;
  var cirrusBitMask = 1 << 11;
  // Ambas indicadores deben ser 0, lo que indica un cielo despejado
  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0)
    .and(qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0));
  return image.updateMask(mask).divide(10000);
}
////////////////////////////////////

// Buscar imagen
var img = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2')
  .filterDate('2020-01-01', '2020-12-30')
  .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 30))
  .map(maskS2clouds)
  .filterBounds(Z7)
  .map(function(image){return image.clip(Z7)})
  .median();

// Visualización RGB
var rgb_vis = {
  min: 0.0,
  max: 0.3,
  bands: ['B4', 'B3', 'B2'],
};

// Centrar el mapa en el área de estudio
Map.centerObject(Z7);

// Añadir imagen al mapa
Map.addLayer(img, rgb_vis, 'Z1S22020');

var ndvi1 = img.normalizedDifference(['B8', 'B4']);

var SAVI = img.expression ('float (((NIR - RED) / (NIR + RED + L)) * (1+L)),{
  'L': 0.5, // Cobertura vegetacion 0-1
  'NIR': img.select ('B8'),
  'RED': img.select ('B4')});

//Añadir NDVI al mapa
Map.addLayer(ndvi1,{max:1, min: -0.5, palette:['FFFFFF','CE7E45','DF923D','F1B555','FCD163','99B718','74A901',
```

```

'66A000','529400','3E8601','207401','056201','004C00','023B01',
'012E01','011D01','011301']];'NDVI_1');

//Añadir SAVI al mapa
Map.addLayer(SAVI,{max:1, min: -0.5, palette:['FFFFFF','CE7E45','DF923D','F1B555','FCD163','99B718','74A901',
'66A000','529400','3E8601','207401','056201','004C00','023B01',
'012E01','011D01','011301']};'SAVI');

//Exportamos la imagen incorporando las bandas deseadas, un nombre de archivo de salida y una resolución
Export.image.toDrive({
image: img.select("B1", "B2", "B3", "B4", "B5", "B6", "B7", "B8"),
description: 'Z1S22020',
maxPixels: 3784216672400,
crs : 'EPSG:32619',
scale: 10});
Export.image.toDrive({
image: ndvi1,
description: 'Z1S22020NDVI',
scale: 10,
maxPixels: 3784216672400,
crs : 'EPSG:32619',
region: Z7})

```

8.7. Código para descargar de imágenes Planet y NDVI en Google Earth Engine

```

// Buscar imagen
var img = ee.ImageCollection("projects/planet-nicfi/assets/basemaps/americas")
    .filterDate("2020-01-01", "2020-12-30")
    // .filter(ee.Filter.lt("CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE", 30))
    /* .map(maskS2clouds)*/
    .filterBounds(Z1)
    .map(function(image){return image.clip(Z1)})
    .median();

Map.centerObject(Z1, 4)

var vis = {"bands":["R","G","B"],"min":.64,"max":.5454,"gamma":1.8};

Map.addLayer(img, vis, '2021-03 mosaic');
Map.addLayer(
    img.normalizedDifference(["N","R"]).rename("NDVI"),
    {min:-0.55,max:0.8,palette: [
        '8bc4f9', 'c9995c', 'c7d270','8add60','097210'

```

```

    ]], 'NDVI', false);

//Exportamos la imagen incorporando las bandas deseadas, un nombre de archivo de salida y una resolución
Export.image.toDrive({
  image: img.select("R", "G", "B", "N"),
  description: 'TodasPlanet2020',
  scale: 10,
  maxPixels: 3784216672400,
  crs : 'EPSG:32619',
  region: Z1});
// Buscar imagen
var img = ee.ImageCollection("projects/planet-nicfi/assets/basemaps/americas")
  .filterDate('2021-07-01', '2021-12-30')
  // .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 30))
  /* .map(maskS2clouds)*/
  .filterBounds(Z5)
  .map(function(image){return image.clip(Z5)})
  .median();

Map.centerObject(Z5)

var vis = {"bands":["R","G","B"],"min":.64,"max":.5454,"gamma":1.8};

Map.addLayer(img, vis, 'Z42018-B');
Map.addLayer(
  img.normalizedDifference(['N', 'R']).rename('NDVI'),
  {min:-0.55,max:0.8,palette: [
    '8bc4f9', 'c9995c', 'c7d270','8add60','097210'
  ]}, 'NDVI', false);

//Exportamos la imagen incorporando las bandas deseadas, un nombre de archivo de salida y una resolución
Export.image.toDrive({
  image: img.select("R", "G", "B", "N"),
  description: 'Z4P21B',
  scale: 10,
  maxPixels: 3784216672400,
  crs : 'EPSG:32619',
  region: Z5});
Export.image.toDrive({
  image: img.select("R", "G", "B", "N"),
  description: 'Z4PNDVI21B',
  scale: 10,

```

```
maxPixels: 3784216672400,  
crs : 'EPSG:32619',  
region: Z5));
```