

Proyecto “Realizar el cálculo y análisis de la exactitud temática de los datos de actividad, estimadores ajustados e incertidumbre, para los mapas temáticos de Superficie de Bosque natural y cambio de la superficie de bosque (deforestación) a nivel nacional y regional para los reportes anuales del año 2022-2023, de acuerdo con las especificaciones técnicas del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC) de IDEAM”

Producto 5: Versión 1 e) Diseño de muestreo (Tipo, estratificación, Cálculos tamaños de muestra y distribución), iii) Descripción de la implementación del diseño de muestreo f) Evaluación de exactitud temática de los productos cartográficos “Cambio en la superficie de Bosque natural” a nivel nacional y regional de Colombia para el año 2023, a partir de imágenes de satélite a nivel nacional y regional para el año 2023, producido por el IDEAM; y g) Capas geográficas y salidas gráficas de los puntos de muestreo evaluados.

Contrato No. VA-II-CCON-025-2024

Presentado por:

4D ELEMENTS CONSULTORES

Equipo:

**Milton Romero Ruiz
Adriana Sarmiento Dueñas
Carlos Pedraza
Dallan Beltrán
Claudia Forero**

Bogotá, 10 de diciembre de 2024

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 4 |
| 2. OBJETIVO..... | 5 |
| 2.1 Objetivos específicos | 5 |
| 3. METODOLOGIA | 6 |
| 3.1 Recopilación de la información | 6 |
| 3.2 Obtención de los puntos de muestreo | 7 |
| 3.3 Seleccionar la capa temática a evaluar | 7 |
| 3.3.1 Elaboración de la mascará de área de interés | 7 |
| 3.4 Generación y diseño de la muestra..... | 7 |
| 3.4.1 Definición del porcentaje de exactitud temática en general | 7 |
| 3.4.2 Definición del tamaño de la muestra | 8 |
| 3.4.3 Distribución espacial de los sitios de verificación | 9 |
| 3.5 Interpretación de la muestra..... | 9 |
| 3.5.1 Conformación del equipo de validación..... | 9 |
| 3.5.2 Asignación de etiquetas de referencia | 10 |
| 3.6 Consolidación y control de calidad | 10 |
| 3.7 Validación de los datos | 11 |
| 4. RESULTADOS..... | 11 |
| 4.1 Recopilación de la información mapa de cambio de superficie 2022-2023 | 11 |
| 4.1.1 Información Satelital | 12 |
| 4.2 Pre_procesamiento | 17 |
| 4.3 Tipificación de los errores de omisión y comisión | 17 |
| 4.3.1 Obtención de los puntos de muestreo..... | 17 |
| 4.3.2 Generación y diseño de la muestra..... | 19 |
| 4.4 Interpretación de la muestra mapa cambio superficie del bosque 2022- 2023 | 21 |
| 4.4.1 Conformación del equipo de validación..... | 21 |
| 4.4.2 Generación del proyecto..... | 21 |
| 4.4.3 Asignación de etiquetas de referencia | 22 |
| 4.4.4 Control de calidad de la interpretación..... | 23 |
| 4.4.5 Validación de datos (Matriz de error, cálculos de exactitud, estimadores de área ajustada, incertidumbre) | 26 |
| 4.5 CONCLUSIONES | 27 |
| 4. BIBLIOGRAFIA | 28 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| <i>Figura 1. Diagrama metodológico para el desarrollo del trabajo.</i> | 6 |
| <i>Figura 2. Mapa de cambio de coberturas boscosa para el periodo 2022-2023</i> | 12 |
| <i>Figura 3. Mosaicos de los productos Last, Mediana: a. Last_pixel_2022_160223, b. Landsat 2022_Mediana_V2_09032023 c. Landsat_2023_Last_Pixel_V2_240424 d. Landsat_2023_Mediana_V2_100424</i> | 14 |
| <i>Figura 4. Mosaicos de los productos Last, Mediana: a .Last_sentinel_2022_230222_utm_Z18, ii) Mediana_sentinel-2022_230220_utm_Z18, iii) Sentinel_ast_2023 y iv), Sentinel_median_2023</i> | 16 |
| <i>Figura 5. Mapa de riesgo a la deforestación</i> | 18 |
| <i>Figura 6. Puntos de muestreo a validar para el periodo 2022-2023</i> | 20 |
| <i>Figura 7. Proyecto QGIS, base para la validación del mapa de cambio en la superficie de bosque 2022-2023</i> | 22 |
| <i>Figura 8. Vinculación de la ventana diseño de Acatama, con Google Earth (CAMBIAR)</i> | 23 |
| <i>Figura 9. Vinculación de la ventana diseño de Acatama, con CCD para el periodo 2022-2023</i> | 23 |
| <i>Figura 10. Distribución de los puntos de no coincidencia entre los intérpretes. (puntos negros coincidencias, puntos rojos sin coincidencias para el periodo 2022-2023</i> | 25 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| <i>Tabla 1. Calculo tamaño de muestra periodo 2022-2023.</i> | 8 |
| <i>Tabla 2. Número de puntos generados por categoría de cobertura para el periodo de análisis de cambio de superficie de bosque 2022-2023.</i> | 20 |
| <i>Tabla 3. Número de puntos de acuerdo entre los intérpretes analizados para el periodo 2022-2023</i> | 23 |
| <i>Tabla 4. Matriz de error tradicional y medidas de fiabilidad del periodo 2022-2023</i> | 26 |
| <i>Tabla 5. Matriz de error de la proporción de área y medidas de fiabilidad del periodo 2022-2023</i> | 27 |
| <i>Tabla 6. Matriz de error de la proporción de área y medidas de fiabilidad para el periodo 2022-2023</i> | 27 |
| <i>Tabla 7. Intervalos de confianza del área estimada por clase para el periodo 2022-2023.</i> | 27 |

1. INTRODUCCIÓN

La teledetección se ha convertido en la herramienta más confiable que permite monitorear e interpretar el cambio en la cobertura del suelo y el uso de la tierra (Toure, Storw, Shih, Weeks, & Lopez-Carr, 2018). La información proveniente de las imágenes satelitales captadas por los sensores remotos contiene valiosa información acerca de la cobertura terrestre, la cual refleja las características de la superficie terrestre, facilitando el estudio de muchas disciplinas y convirtiéndose en apoyo y complemento las técnicas convencionales de muchos estudios actuales y futuros. Hoy en día, existe una amplia disponibilidad de imágenes satelitales, de diferentes resoluciones tanto espaciales como espectrales que han permitido que se desarrolle técnicas y métodos de clasificación e interpretación basados principalmente en píxeles y en objetos (Liu, Du, & Wang, 2018).

Las ventajas y desventajas de esas técnicas se han discutido en muchos estudios, y actualmente los procesos de monitoreo de coberturas se basan en su gran mayoría, en la detección de cambios temáticos a nivel de píxeles provenientes de imágenes satelitales de resolución espacial media en especial de imágenes LANDSAT. Un análisis multitemporal de imágenes satelitales más allá del paradigma de interpretación basados en píxel o de objetos geográficos, debe permitir obtener, una mayor coherencia en los reportes generados sobre las dinámicas de cambio de las coberturas, lo que se traduce en un mejor análisis y predicción de los cambios en la extensión y delimitación de un determinado fenómeno continuo en el espacio (Geroffrey & Steiniger, 2018).

Bajo el contexto de avance en la teledetección, Colombia se acoge a los acuerdos de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático– CMNUCC durante las Conferencias de las Partes de 2009 y 2010 (COP 15 y 16, respectivamente), y recientemente en Varsovia (COP 19), que instituye que los países en desarrollo establezcan un sistemas nacionales de monitoreo forestal que permitan cuantificar las emisiones/absorciones de GEI y los cambios en la superficie de los Bosques y las reservas forestales de Carbono. Para ello se define como cobertura de Bosque la: *Tierra ocupada principalmente por árboles que puede contener arbustos, palmas, guaduas, hierbas y lianas, en la que predomina la cobertura arbórea con una densidad mínima del dosel de 30%, una altura mínima del dosel (in situ) de 5 m al momento de su identificación, y un área mínima de 1,0 ha. Se excluyen las coberturas arbóreas de plantaciones forestales comerciales, cultivos de palma, y árboles sembrados para la producción agropecuaria.*

Esta definición es consecuente con los criterios definidos por la CMNUCC en su decisión 11/COP.7, con la definición adoptada por Colombia ante el Protocolo de Kyoto (MAVDT, 2002), así como con la definición de la cobertura de Bosque natural incluida en la adaptación para Colombia de la leyenda de la metodología CORINE Land Cover -CLC Colombia-. Para el presente protocolo la deforestación está definida como: *La conversión directa y/o inducida de la cobertura de Bosque a otro tipo de cobertura de la Tierra en un periodo de tiempo determinado* (Defries, y otros, 2006). Por su parte, la regeneración se define como: *La recuperación de la cobertura de Bosque de zonas donde no estaba presente en fechas anteriores.*

De esta manera, en el 2011 los investigadores del IDEAM, evalúa diferentes técnicas de procesamiento de datos de sensores remotos para la detección de cobertura del Bosque y sus respectivos cambios en el tiempo, generando como resultado el “Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia a Nivel Nacional - Escala gruesa y fina” (Cabrera, y otros, 2011), la cual hoy ha sido la apuesta metodológica para la cuantificación histórica de la deforestación a nivel nacional para los periodos 1990-2000, 2000-2005 y 2005-2010.

Este protocolo, además de dar las directrices necesarias para el procesamiento de imágenes, proponen seguir una serie de recomendaciones y consideraciones, que han sido aceptadas por la comunidad de sensores remotos como buenas prácticas, para al evaluar la exactitud de los mapas finales de cambio, la cual en gran medida acoge los lineamientos determinados por investigadores de la Universidad de Boston (Olofsson, Foody, Stehman, & Woodcock, 2012), (Olofsson, Foody, & Herold, 2014). De acuerdo con estas recomendaciones se debe validar la

exactitud temática de los productos que se generen en la elaboración de mapas de bosque/no bosque y del mapa de Cambio de bosque. Para ello se define el término validación como un *conjunto de técnicas para determinar la calidad de un mapa en particular*. Las técnicas incluyen la evaluación de la exactitud de un mapa dado, con base a observaciones tales como la precisión general y los errores de omisión y comisión por clase de cobertura de la tierra, y para ello se aborda principalmente tres componentes: (i) un diseño de muestreo probabilístico; (ii) un diseño de la respuesta que sea coherente con la información de referencia a usar; y (iii) un análisis para estimar la exactitud, a partir una matriz de error construida mediante estimadores insesgados. Acogiendo a estos lineamientos, este proyecto muestra el marco metodológico para el diseño de muestreo y su implementación, evaluación de la exactitud temática, cálculos de estimadores de área e incertidumbre, así como los procedimientos de control de calidad de la interpretación y seguimiento de las actividades.

Bajo este esquema, en el 2021, la empresa 4D Elements, realizó el cálculo y análisis de la exactitud temática de los datos de actividad, estimadores ajustados e incertidumbre, para los mapas temáticos de superficie de bosque natural y cambio de la superficie de bosque (deforestación) a nivel nacional y regional para el año 2018, de acuerdo a las especificaciones técnicas del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC) de IDEAM, siendo este el piloto de implementación bajo los protocolos definidos por el IDEAM y los diferentes autores de referencia a la manera de generar este tipo de análisis. A partir de este análisis, en esta etapa se realiza el procedimiento de validación, retomando las lecciones aprendidas en este primer proceso y utilizando las ventajas en la evolución que se ha tenido en la información satelital, los avances de la herramienta ACATAMA y la experiencia que tuvo el equipo interpretador el cual está conformado por los mismos profesionales que elaboraron el primer análisis.

Este tercer informe recopila la primera fase del proyecto en la cual se describe la conformación del equipo de trabajo, el diseño de muestreo, así como su implementación y los primeros resultados de avance de la evaluación de la exactitud del mapa de bosque no bosque del 2022-2023.

2. OBJETIVO

Realizar el cálculo y análisis de la exactitud temática de los datos de actividad, estimadores ajustados e incertidumbre, para el mapa temático de cambio de la superficie de bosque (deforestación) a nivel nacional y regional para el reporte anual del año 2023, de acuerdo con las especificaciones técnicas del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC) de IDEAM.

2.1 Objetivos específicos

Evaluación temática el producto cartográfico “Cambios en la superficie de Bosque Natural” a nivel nacional y regional de Colombia para el año 2023, a partir de imágenes de satélite.

- Tipo y cantidad de imágenes e insumos utilizados
- Descripción del pre-procesamiento realizado a las imágenes en caso de ser necesario
- Tipificación de los errores de omisión y comisión detectados, socializados con el equipo técnico del SMBYC del IDEAM
- Matriz de error, cálculos de exactitud, estimadores de área ajustada, incertidumbre y demás cálculos y análisis requeridos
- Análisis de los datos recolectados.
- Reporte y análisis de la evaluación de exactitud temática del producto cartográfico “Cambio en la superficie de Bosque natural” a nivel nacional y regional para el año 2022 a partir de imágenes de satélite producidos por el IDEAM.

- Productos cartográficos generados en el proceso de clasificación y validación, incluido el shape con los puntos de muestreo clasificados, evaluados tipificados entre otros.
- Tabla con los cálculos de exactitud temática, estimaciones de área ajustada, incertidumbre y demás cálculos generados

3. METODOLOGIA

La Figura 1 muestra la metodológica implementada para validación de los mapas de cambio de bosque / no bosque para el reporte anual del año 2023

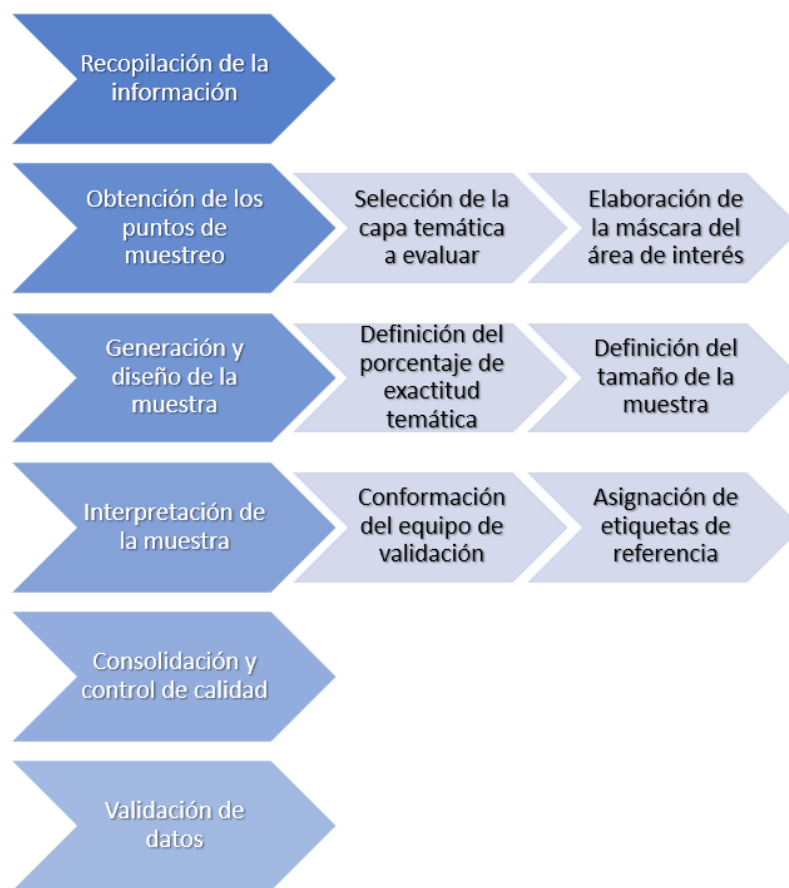


Figura 1. Diagrama metodológico para el desarrollo del trabajo.

3.1 Recopilación de la información

La primera fase consistió en la obtención de la información necesaria para realizar la evaluación temática del producto. Para ello se recopiló la siguiente información:

- i) Mapa de cambio para el periodo 2022-2023, el cual contiene la información por las clases de bosque estable, no bosque estable, deforestación, regeneración y sin información.
- ii) Información satelital necesaria para la validación, la cual incluye imágenes de Landsat consolidadas e individuales del periodo de análisis, imágenes Sentinel a 10 metros de resolución, con 4 bandas

espectrales, link gratuito de observación de imágenes de alta resolución (Planet Scope) y aquellos insumos satelitales disponibles en páginas web (Google, ESRI, Bing).

3.2 Obtención de los puntos de muestreo

Las técnicas de validación dependen en gran medida del diseño de muestreo de probabilidad para la obtención de los datos. Por ello, para la validación del mapa de bosque -no bosque – deforestación para los periodos de análisis se siguió la metodología planteada por (Olofsson P. , Foody, Stehman, & Woodcock, 2012), que establece un diseño metodológico a través de una **selección de tipo de muestreo** considerando la proporción de cada clase que ocupa en el territorio, siendo necesario identificarlas y asignarles un tamaño de muestra lo suficientemente grande como para obtener un error estándar pequeño en la estimación de la exactitud del usuario y la obtención de muestras a través de un **muestreo aleatorio estratificado** para conseguir los mejores resultados en el proceso de validación. Para la obtención de las muestras a validar se utilizó la herramienta ACATAMA (Accuracy Assessment of Thematic Maps) plugin que trabaja bajo el software de QGIS versión 3.10 en adelante y el cual fue desarrollada por el equipo del SMByC donde se incorpora los lineamientos de (Olofsson, Foody, & Herold, 2014). Los parámetros que se emplean para la evaluación de los mapas se describen a continuación:

3.3 Seleccionar la capa temática a evaluar

La evaluación se realizó para el mapa de cambio (bosque – no bosque – deforestación) para el periodo del 2022-2023, el cual se encuentran en el sistema de coordenadas geodésicas WGS84, EPSG 32618, con una resolución espacial de 30 x 30 metros, generado por el Sistema de Monitoreo de Bosque y Carbono - SMByC del IDEAM.

3.3.1 Elaboración de la mascaró de área de interés

El Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono – SMByC del IDEAM elaboró el mapa de riesgo a partir de los mapas históricos de bosque – no bosque – deforestación de los periodos comprendidos entre el 2012 – 2022 donde se permite identificar aquellas áreas donde está ocurriendo los mayores cambios de pérdida de bosque en el país. De esta manera, esta mascara permite incrementar los esfuerzos de validación en las superficies donde pueda existir la mayor probabilidad de deforestación y de la misma manera realizar un balance de áreas entre las coberturas de bosque estable y no bosque estable respecto a las de cambio.

El mapa de riesgo a través de una unión de capas se incorporó al mapa de cambio, el cual permitió identificar los puntos de validación para el mapa de cambio de superficie del 2022-2023, dividiendo cada cobertura en áreas de alto riesgo y de bajo riesgo para cada una de las categorías de las coberturas de análisis.

3.4 Generación y diseño de la muestra

La generación de la muestra se basó en el método aleatorio estratificado por clases, acorde a lo propuesto por Pontius- Oloson y el IDEAM a lo largo de los años. Este método se basa en la proporción que define el número de puntos calculados acorde a la proporción del área y del error. En otras palabras, a aquellas clases que ocupan una pequeña porción del territorio, se les asigno un tamaño de muestra lo suficientemente grande para obtener un error estándar pequeño en la exactitud del usuario. Este mismo procedimiento se realizó para el mapa de bosque no bosque del periodo 2022 Los parámetros iniciales del modelo son:

3.4.1 Definición del porcentaje de exactitud temática en general

El valor inicial preliminar, seleccionado para la definición del porcentaje de exactitud temática de la muestra es el planteado por ACATAMA, acorde a la información proveniente de la capa temática. Este valor sirve de parámetro inicial el cual se va ajustando al definir los parámetros del tamaño de la muestra.

3.4.2 Definición del tamaño de la muestra

El tamaño total de la muestra es determinado a partir de tres componentes acorde a la ecuación propuesta por (Cochran, 1977): definida como

$$n = \left[\frac{\sum W_i S_i}{S(\hat{O})} \right]^2 \leftrightarrow$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra,

El primer componente corresponde a la proporción de área mapeada de la clase i $W_i = \frac{A_{m,i}}{A_{tot}}$, donde $A_{m,i}$ es el área mapeada de la clase i y A_{tot} es área total de las clases evaluadas en el mapa y donde

Área

$$A = \frac{T_P^2 * (\text{Pixel numbers})}{10000}$$

El segundo es el producto entre $U_i * U_i - 1$, donde U_i es la exactitud esperada de cada clase clasificada por el usuario, $U_i - 1$ es el complemento de U_i , y se considera el error máximo esperado o la probabilidad de que el área mínima de mapeo sea asignada a otra clase distinta.

$$S_i = \sqrt{U_i * (1 - U_i)}$$

Para las clases de Bosque y No Bosque, se les asignó un valor a del 90% ya que las firmas espectrales tienen un intervalo de confianza de 90%, se espera que la exactitud de cada cobertura este por encima o igual del valor de los intervalos de confianza. La clase no estudio es incluida debido a que se necesita puntos de validación para verificar la clasificación de dicha clase.

El tercer componente es el error estándar general y $S\hat{O}$, que se determina de acuerdo a la exactitud esperada de la validación, así el tamaño total de la muestra es la sumatoria de la multiplicación entre la proporción del área de cada clase (W_i) y el error estándar de cada clase (S_i), dividido entre el error estándar general (S_0). Lo anterior elevado al cuadrado.

Para ajustar la desviación estándar U_i se le asignó un valor teórico de exactitud de usuario sugeridos por el SMByC, los cuales corresponden a 0,9 para las coberturas de bosque estable y no bosque estable, por considerarse que esta clase suele tener una alta exactitud, mientras que, para las clases de deforestación, sin información y regeneración se les asignó 0,8. Estos valores se analizaron y ajustaron en conjunto con los especialistas del SMByC Tabla 1.

Tabla 1. Calculo tamaño de muestra periodo 2022-2023.

| CLASES | CLASES | Área (Píxeles) | Área (ha) | Wi | Ui | SI |
|--|----------------------------------|----------------|------------|------------|-----|-----|
| Cambio superficie del Bosque 2022-2023 | 1 Bosque riesgo bajo | 398,448,675 | 35,860,381 | 0.31439 | 0.9 | 0.3 |
| | 2 Bosque riesgo alto | 259,344,635 | 23,341,017 | 0.20463431 | 0.9 | 0.3 |
| | 2. Deforestación riesgo bajo | 56,747 | 5,125 | 0.00004493 | 0.8 | 0.4 |
| | 2. Deforestación riesgo alto | 823,517 | 74,117 | 0.00064979 | 0.8 | 0.4 |
| | 3. Sin información | 5,362 | 483 | 0.00000423 | 0.8 | 0.4 |
| | 4. Regeneración | 621 | 56 | 0.00000049 | 0.8 | 0.4 |
| | 5. No bosque estable riesgo bajo | 350,212,258 | 31,519,103 | 0.27633286 | 0.9 | 0.3 |

| CLASES | CLASES | Área (Píxeles) | Área (ha) | Wi | Ui | SI |
|--------|----------------------------------|----------------------|--------------------|------------|-----|-----|
| | 5. No bosque estable riesgo alto | 258,464,533 | 23,261,808 | 0.20393987 | 0.9 | 0.3 |
| | Total | 1,267,356,548 | 114,062,089 | | | |

3.4.3 Distribución espacial de los sitios de verificación

Los sitios de verificación seleccionados se realizaron de manera aleatoria acorde a los siguientes parámetros:

- **Distancia entre las muestras:** 500 m, este valor se definió con el fin de que no se traslapen los píxeles a seleccionar con respecto a la mínima unidad cartográfica que es 1 ha, (9 píxeles dentro de una rejilla de 3 x 3 = 180 para que no se traslapen las dos clases). Acorde al protocolo del IDEAM se designó una separación de 500 metros.
- **Número de vecinos:** 8 puntos alrededor de la clase que va ser evaluada. La evaluación se realizó únicamente para el punto central, no para los vecinos.
- **Mínimo número de vecinos de la misma clase:** 8 puntos alrededor de nuestra clase sea el mismo. Es decir, si se tomó un punto de deforestación, los 4 vecinos del píxel central también tienen que corresponder a puntos de deforestación. Si se elige más de 8 vecinos, aquellas áreas que tienen solamente una hectárea; las cuales tendrían solamente 8 vecinos de la misma clase no serían candidatos a ser seleccionados como muestra perdiéndose gran proporción de la información. Igualmente, esta selección obedeció a que se quiso evitar en la medida de lo posible que algunos puntos cayeran al borde de cambio entre clases y debido a que ese límite muchas veces no es claro en las imágenes satelitales a evaluar se debe evitar estos límites.
- **Número máximo de interacciones:** La definición de las interacciones depende de la cantidad de memoria RAM y en nuestro caso se dejó de 6000. Se generó una rejilla a todo el país de puntos acorde a los parámetros determinados anteriormente. A definir el número de interacciones, se permite ubicar de la mejor manera los puntos, con el fin de cubrir mejor el área a evaluar.
- **Semilla aleatoria:** El valor corresponde a los años de análisis (2022-2023) Este valor se refiere a la generación de números pseudoaleatorios, que tratan de imitar las propiedades de generaciones independientes de una distribución uniforme en intervalo (0,1 bite). De esta manera al hacer esta semilla el generador, puedes predecir (y reproducir) la secuencia.

Una vez se corrió el algoritmo de ACATAMA, se revisaron los resultados preliminares y se inició el proceso de ajuste de la exactitud temática en general (0,95%) para alcanzar el valor de los puntos deseados para el muestreo acordado el cual es cercano a cercano a los 10.000 puntos para los mapas de cambio.

3.5 Interpretación de la muestra

Una vez obtenidos los puntos a validar se inició el proceso de interpretación de los mismos los cuales se realizan en los siguientes pasos:

3.5.1 Conformación del equipo de validación

La primera tarea una vez generado los puntos a validar, es la conformación del equipo de validación, acorde a lo establecido por el documento metodológico de operación estadística, monitoreo de la superficie de Bosque Natural en Colombia (IDEAM, 2019). Este equipo está constituido por:

- El líder de la evaluación, encargado de coordinar el trabajo de los intérpretes, realizar el diseño e implementación de una muestra probabilística; realizar la consolidación y verificación de la interpretación; y efectuar el análisis de exactitud.
- Tres (3) profesionales con amplia experiencia en interpretación visual y digital, y entrenados para aplicar el concepto de Cobertura boscosa en imágenes ópticas de media resolución.
- Un profesional de apoyo quien permitió la organización y revisión de los datos y la generación de los proyectos.

3.5.2 Asignación de etiquetas de referencia

Inicialmente se hace una reunión del coordinador con su grupo de intérpretes con el fin de considerar los mismos parámetros para la clasificación de los puntos. Posteriormente, cada uno de los intérpretes de manera individual inicia la comprobación de cada uno de los puntos de muestreo obtenidos a partir de la interpretación visual de las imágenes de alta resolución de Planet Scope (<https://www.planet.com/>). Estas imágenes están disponibles para consulta de usuarios mensualmente; los mosaicos de los satélites Landsat7 ETM+, Landsat 8 OLI, y Sentinel generados por el Sistema de monitoreo de Bosques y Carbono SMBYC del IDEAM; la información de las imágenes LANDSAT individuales y las herramientas de apoyo de imágenes disponibles por internet (ESRI, BING, GOOGLE).

Para ello, cada uno de los intérpretes realiza la interpretación con ayuda de la herramienta de QGIS Acatama, definiendo una escala de referencia de 200, la cual se va modificando acorde a la dificultad de la interpretación y siguiendo los siguientes parámetros:

- Para la definición de bosque se optó el concepto de la FAO como aquella superficie de árboles con altura mínima del dosel de 5 metros que cubren una hectárea en más del 30%. Para ello se excluyen aquellas coberturas arbóreas de plantaciones forestales comerciales, cultivos de palma y mosaicos de cultivos arbóreos.
- Se evalúa cada una de las clases que se encuentran inmersas dentro del mapa superficie de cambio (bosque estable, bosque no estable, deforestación, regeneración y sin información).
- Las imágenes Planet del 2020 a octubre del 2024 son de soporte para revisar y corroborar la información de los puntos. Se tiene precaución del desplazamiento y revisar el último trimestre de cada año (octubre a diciembre) para tener certeza de que clase se evalúa.
- La información de mediana de otros años se utilizaras para corroborar las clases (esta información es útil para evaluar regeneración).
- Es importante considerar la clase sin información y evaluarla correctamente, si en los compuestos de Mediana y Last no se tiene información, pero en las imágenes Planet Scope si el punto se evalúa dependiendo el tipo de cobertura presente en dichas imágenes. Las áreas que no se pueda demostrar información con los insumos otorgados en uno de los años evaluados, se categorizara en la clase sin información
- En los casos que los mosaicos LANDSAT media y last no tuvieran información ya sea por efectos como las nubes o sombras o simplemente porque el satélite no capturo información, se realizara la verificación de las imágenes individuales empezando por el último mes del año (diciembre). De no tener información en el mes correspondiente, se verificará el punto con el mes anterior, es decir, que si se estaba verificando un punto en el mes de diciembre y este no tenía información se verificará con el mes de noviembre.

3.6 Consolidación y control de calidad

Una vez cada interprete termine la fase de validación visual, se realizará la integración de los resultados individuales con el fin de identificar las coincidencias y desacuerdos que existan entre los puntos evaluados. Para ello se genera la matriz de confusión preliminar que permite determinar las clases con mayor confusión, y así realizar el control de calidad y los ajustes necesarios de la interpretación del muestreo. Para ello se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

- Si los tres interpretes coinciden en su interpretación, se deja el valor asignado de referencia por los mismos.
- En caso de existir coincidencia en al menos dos de las tres interpretaciones, se evalúa junto con el líder de la evaluación la diferencia y se llega a un consenso.
- En caso de existir diferencias en la interpretación de los tres intérpretes, se realizó una revisión de los puntos junto con el coordinador y se llegó a un consenso.

3.7 Validación de los datos

Una vez llegado al consenso final con todos los puntos se realiza nuevamente una matriz de confusión final. Esta es una matriz cuadrada en la que se compara la clasificación de la capa evaluada obtenida por el grupo evaluador con la elaborada por el productor, en este caso el SMCyB. A través de la matriz de confusión se evalúa la exactitud de la clasificación, situando en las filas las clases o categorías del mapa y en las columnas las mismas clases para la verdad de terreno. Esta matriz presenta una visión general de las asignaciones, tanto de las clasificaciones correctas (elementos de la diagonal) como de las migraciones o fugas (elementos fuera de la diagonal), así mismo, recoge los errores de omisión y de comisión (*Errores de comisión: elementos que no perteneciendo a una clase aparecen en ella y Errores de omisión: elementos que perteneciendo a esa clase no aparecen en ella por estar erróneamente incluidos en otra*) (Boca & Rodríguez, 2012).

Respecto a las medidas utilizadas para expresar la exactitud del mapa se emplea:

- i) exactitud del productor (\hat{P}_j) calculada como la razón entre el número de unidades muestreadas que fueron correctamente clasificadas (diagonal) y el número de unidades que pertenecen a esa categoría (campo) O sea que no fueron asignadas en el mapa a la clase correspondiente. Se utiliza para calcular los errores de omisión.
- ii) Exactitud del y usuario (\hat{U}_j) se calcula como razón entre el número de unidades muestreadas que fueron correctamente clasificadas (diagonal) y el número total de unidades que forman esa clase en el mapa. O sea, el número de clases asignadas a una categoría en el mapa pero que no pertenecen a ella. Se utiliza para calcular los errores de comisión (Boca & Rodríguez, 2012).
- iii) Exactitud general del mapa $\hat{O} = \sum_{j=1}^q \hat{P}_{jj}$ donde \hat{p} es un estimador insesgado de la proporción de superficie en la celda i, j , de la matriz de error y se calcula como $\hat{p}_{jj} = W_i \frac{n_{ij}}{n_i}$

Estas medidas se utilizarán teniendo en cuenta la proporción de la superficie de cada clase para la estimación de la matriz de error. Sin embargo, igualmente y como establece (Ramírez, Ramírez, Galindo, & Espejo, 2014), se realizó la estimación de las medidas de fiabilidad de manera directa a partir de matriz tradicional de recuentos.

4. RESULTADOS

Una vez que se verificó que el 100% de las unidades de observación están incluidas en los mapas, se realizó el cálculo y análisis de la exactitud temática. Para este informe se presenta los resultados obtenidos a nivel de generación de puntos para los mapas de evaluación del mapa de cambio de superficie de bosque del 2022-2023.

4.1. Tipo y cantidad de imágenes e insumos utilizados

Acorde a la metodología planteada, la primera actividad consistió en la recopilación de la información tanto satelital del mapa de cambio de superficie de bosque del 2022-2023, insumos necesarios para la evaluación de la exactitud temática. A continuación, se describe los resultados obtenidos a lo largo de este proceso.

4.1 Recopilación de la información mapa de cambio de superficie 2022-2023

Acorde a la metodología, el primer paso, fue la recopilación de la información elaborada por el productor de cambio en superficie de bosque para el periodo 2022-2023, y las imágenes de referencia que permitieron evaluar el producto.

El mapa de cambio de superficie nos muestra que el área Continental de Colombia, tiene una extensión de 114.062.089 ha, a 2022 el país contaba con un área total de 59,201,398 ha de bosque natural, equivalentes a 51,90%. Por su parte, un total de 54,780,911 ha de superficie continental presenta coberturas no boscosas,

equivalente al 48,03% del territorio. Para este periodo se registró un total de 79,242 ha de deforestación (0.07%), 56 ha en regeneración (0.001%) y 483 ha en áreas sin información, estas últimas que corresponden a las áreas sin información Figura 2.



Figura 2. Mapa de cambio de coberturas boscosa para el periodo 2022-2023

4.1.1 Información Satelital

La información satelital empleada para la validación de los productos fue:

- **Landsat:** Los cuatro mosaicos de los productos Last y mediana del 2022 y 2023 que corresponden a: i). iii). Last_pixel_2022_160223 iv). Landsat_2022_Mediana_V2_09032023; iii). Landsat_2023_Last_pixel_V2_240424 iv). Landsat_2023_Mediana_V2_10'0424 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Igualmente se tuvo como imágenes de apoyo las del periodo 2021 que corresponden a i). Landsat_2021_last_pixel_V3_11052022 ii). Landsat_2021_Mediana_V3_10052022. Las cuatro imágenes de referencia, fueron generadas por el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono SMBYC a partir de compuestos multianuales de imágenes Landsat del periodo 2021 y 2022 a las que previamente se les ha aplicado procesos de calibración y corrección radiométrica, eliminando los píxeles contaminados atmosféricamente. Los productos Landsat Mediana, corresponde al valor promedio de los valores de reflectancia que se encuentran entre el percentil 25 y 75 del compuesto, generado para cada píxel de cada banda espectral. Por su parte, los productos Landsat Last pixel, corresponde a la mediana de los tres últimos valores sin nubes de cada banda obtenida del compuesto de imágenes multianual. Los productos incluyen cuatro bandas espectrales de las imágenes Landsat, a saber: Rojo (0.626-0.693 μ m), Infrarrojo cercano- NIR (0.776- 0.904 μ m), Infrarrojo de onda corta SWIR1 (1.567-1.784 μ m) e infrarrojo de onda media SWIR2 (2.097-2.349 μ m).

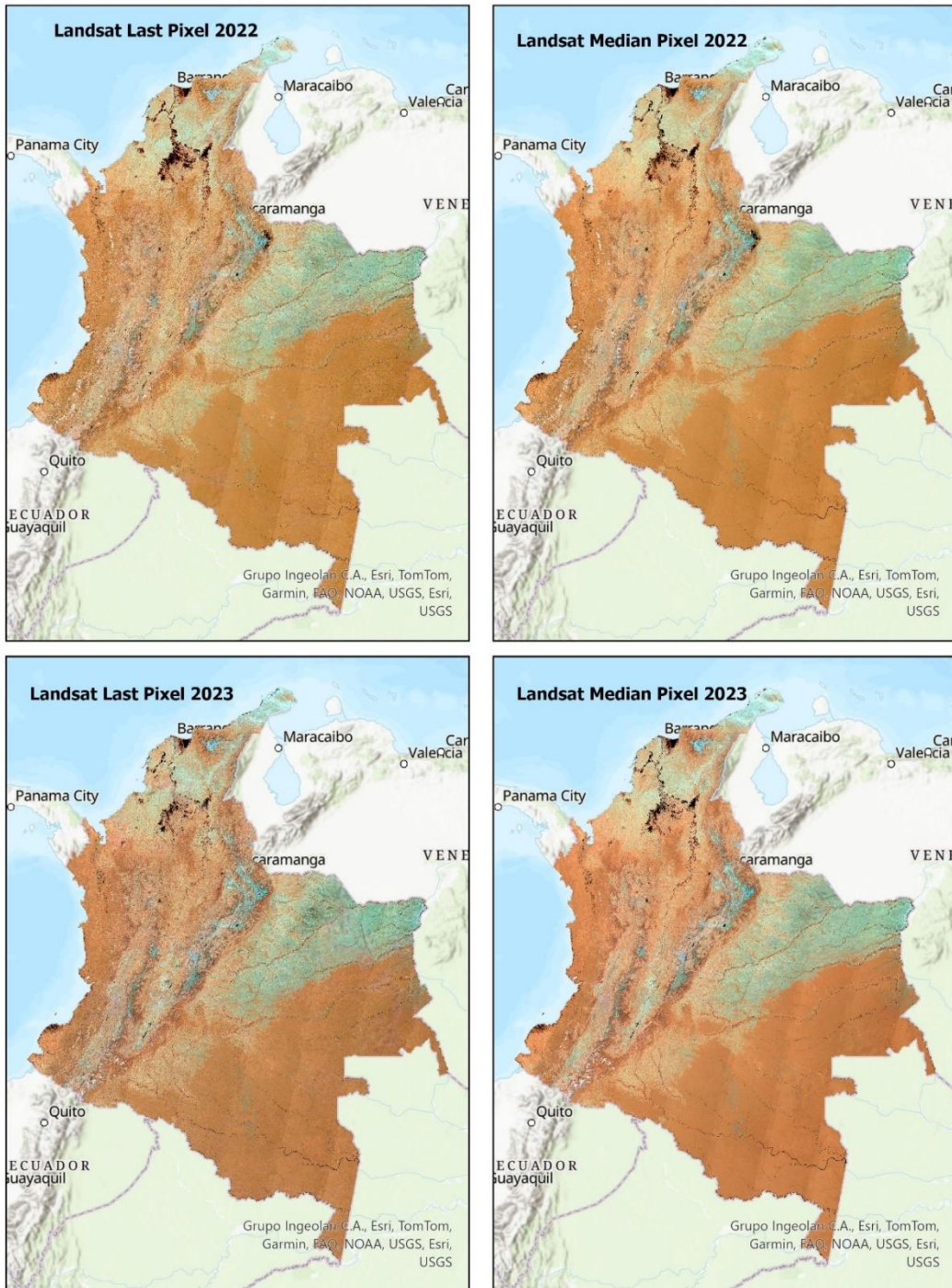


Figura 3. Mosaicos de los productos Last, Mediana: a. Last_pixel_2022_160223, b. Landsat 2022_Mediana_V2_09032023 c. Landsat_2023_Last_Pixel_V2_240424 d. Landsat_2023_Mediana_V2_100424

- Sentinel: Las cuatro imágenes del compuesto de imágenes sentinel last y mediana del 2022 y 2023 que corresponden a i) Last_sentinel_2022_230222_utm_Z18 y ii) Mediana_sentinel_2022_230220_utm_Z18, iii) Sentinel_ast_2023 y iv) Sentinel_median_2023 (Figura 3Figura 4). Al igual que las imágenes Landsat se tuvo como apoyo las imágenes i). Sentinel_last_pixel_2021_270422_UTM18 y Sentinel_mediana_2021_270422_UTM18.
- El servicio WMTS de las que permite filtrar, localizar y visualizar imágenes de planet, https://api.planet.com/basemaps/v1/mosaics/wmts?api_key=06da105ff5cd493ab05068a0e8a99810, los cuales fueron desplegados para los periodos de análisis.
- El plugin de QGIS QuickMapServices: que permite el acceso a información de imágenes satelitales que provienen de servicios Web, mediante protocolos WMS y WMTS generados dentro de Bing, ESRI, Google, OpenStreetMap entre otros.
- Las imágenes Landsat individuales de toda el área continental de Colombia, que corresponden a los últimos tres meses del año 2019 a 2022. Las imágenes tienen seis bandas espectrales de las imágenes Landsat, a saber: Azul (0.45-0.52 μm), Verde (0.52-0.60 μm), y Rojo (0.626-0.693 μm), Infrarrojo cercano- NIR (0.776-0.904 μm), Infrarrojo de onda corta SWIR1 (1.567-1.784 μm) e infrarrojo de onda media SWIR2 (2.097-2.349 μm) (Figura 4 y Figura 5).

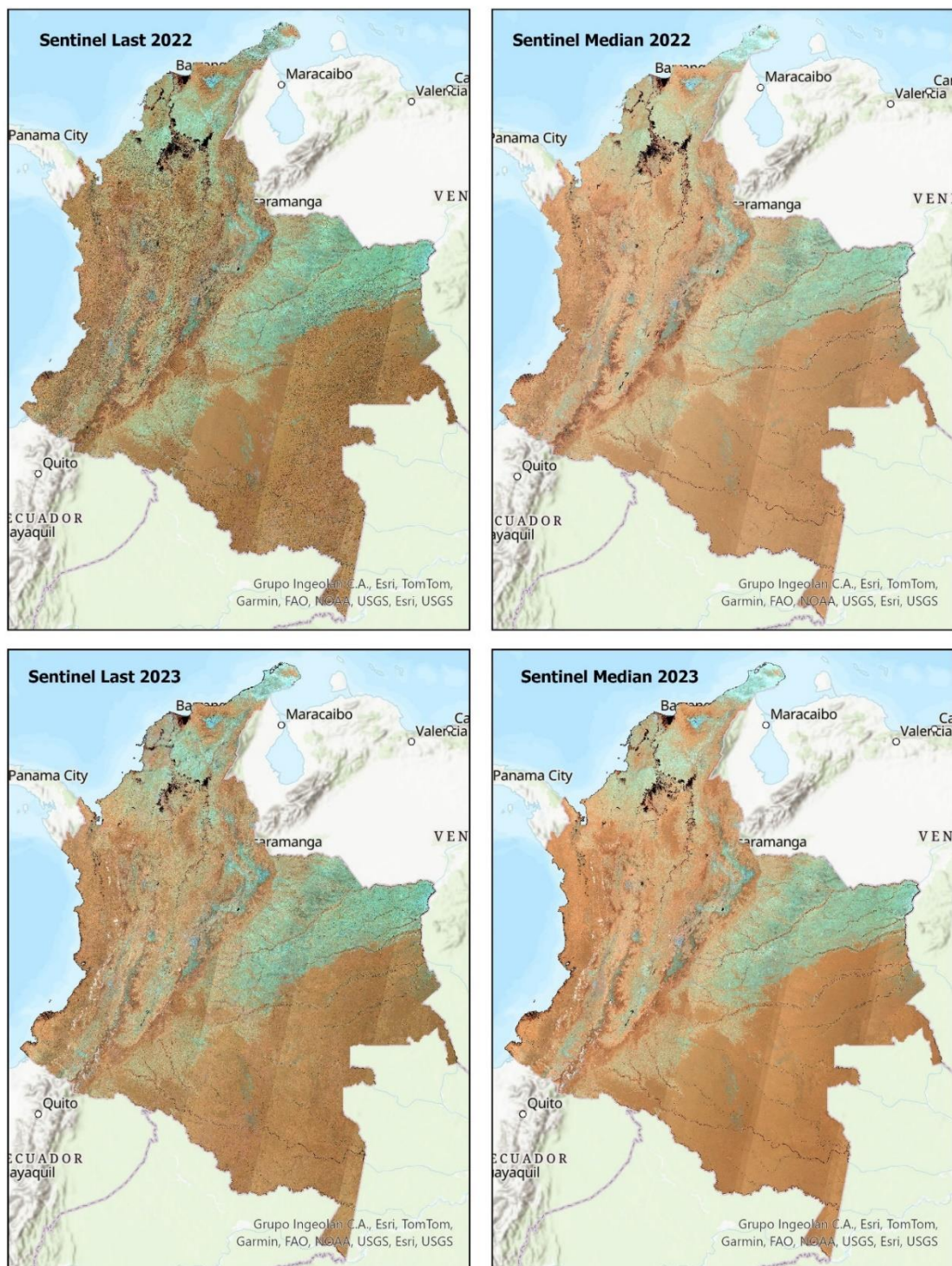


Figura 4. Mosaicos de los productos Last, Mediana: a) Last_sentinel_2022_230222_utm_Z18, ii) Mediana_sentinel-2022_230220_utm_Z18, iii) Sentinel_ast_2023 y iv), Sentinel_median_2023

4.2 Pre_procesamiento

Para la validación de los mapas temáticos, se utilizó la información satelital generada por el SMByC y los productos individuales de Landsat sin necesidad de generar ningún tipo de preprocesamiento de las mismas. En el momento de la validación a los mosaicos de imágenes Landsat y Sentinel se les realizó un estiramiento de corte acumulativo utilizando para ello una extensión y límites predeterminados. Esta técnica permitió mejorar la calidad de la imagen resaltando las características locales que la hicieron más visible al contrastar localmente detalles.

4.3 Tipificación de los errores de omisión y comisión

La tipificación de los errores de omisión y comisión de los mapas temáticos se realizó en 4 fases, cuyos resultados se describen a continuación:

4.3.1 Obtención de los puntos de muestreo

Antes de iniciar el proceso de generación de muestras, acorde a la metodología se elaboró el mapa de riesgo a la deforestación partiendo con la identificación del área de deforestación donde se concentra la deforestación en el país, con ayuda de la información histórica de los mapas de bosque – no bosque generando un total de 10 estratos para el muestro y la validación del mapa de cambio de la superficie que corresponde a: (1) Bosque estable en zonas de alto riesgo de deforestación BE-RA, (2) No bosque estable en zonas de alto riesgo de deforestación NB-RA, (3) Deforestación en zonas de alto riesgo de deforestación DEF-RA, (4) Bosque estable en áreas de bajo riesgo de deforestación BE-RB, (5) sin información en zonas de bajo riesgo SIN-RB; (6) sin información en zonas de alto riesgo (SIN-RA); (7) regeneración en zonas de alto riesgo (RE-RA) (8) regeneración en zonas de bajo riesgo (RE-RB) (9) No Bosque estable en áreas de bajo riesgo de deforestación NB-RB y (10) Deforestación en áreas de bajo riesgo de deforestación DEF-RB (Figura 5).



Figura 5. Mapa de riesgo a la deforestación

Para la obtención de puntos de muestreo se inició con cambiar los valores del error muy bajos y las desviaciones estándar de cada clase acorde a lo establecido por el IDEAM. La clase de bosque estable y no bosque estable con

valores cercanos a 0,95, deforestación y regeneración 80%. Finalizada esta etapa, se discutió, concertó y aceptó con el equipo técnico del SMyC del IDEAM.

4.3.2 Generación y diseño de la muestra

Una vez generada la información del mapa de riesgo y, con ayuda de la herramienta desarrollada en el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono SMyC ACATAMA (Accuracy Assessment of Thematic Maps), se inició la generación de muestras acorde a los parámetros estadísticos establecidos dentro de la metodología. De esta manera, se realizó el proceso de evaluación de la exactitud temática de las coberturas bosque estable, no bosque estable, deforestación, regeneración y sin información.

Para la estimación del tamaño de muestra, se siguió los parámetros establecidos en la metodología, se asumió un error estándar esperado para todo el mapa de 0,003. Igualmente, y acorde a (Olofsson, Foody, & Herold, 2014), que han mostrado que los errores de comisión para las clases de cambio son más altos que los cometidos en las clases estables, se asumió una exactitud de usuario para la clase de cambio correspondiente a deforestación regeneración y sin información de 0,8, en las categorías de riesgo alto y bajo. Mientras que para las demás clases correspondió a 0,90.

De esta manera, la distribución aleatoria de los sitios de verificación, una vez se efectuó la corrida bajo los parámetros establecidos en el marco metodológico (Figura 6).

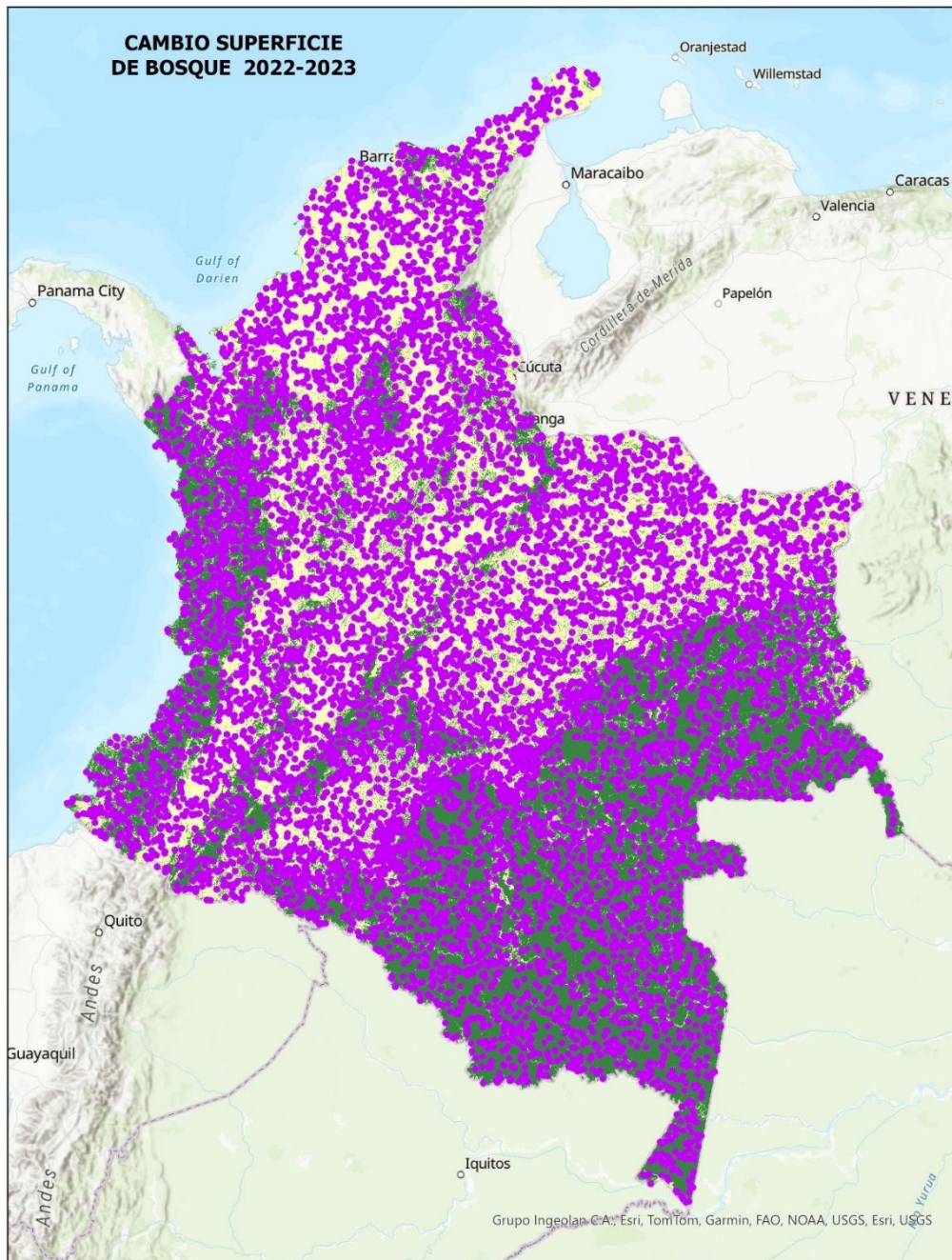


Figura 6. Puntos de muestreo a validar para el periodo 2022-2023

Tabla 2. Número de puntos generados por categoría de cobertura para el periodo de análisis de cambio de superficie de bosque 2022-2023.

| Cobertura | 2022_2023 |
|----------------------|-----------|
| 1 Bosque riesgo bajo | 2501 |

| Cobertura | 2022_2023 |
|----------------------------------|-----------|
| 2 Bosque riesgo alto | 1978 |
| 2. Deforestación riesgo bajo | 50 |
| 2. Deforestación riesgo alto | 952 |
| 3. Sin información | 5 |
| 4. Regeneración | |
| 5. No bosque estable riesgo bajo | 2727 |
| 5. No bosque estable riesgo alto | 1800 |
| Total | 10013 |

4.4 Interpretación de la muestra mapa cambio superficie del bosque 2022- 2023

4.4.1 Conformación del equipo de validación

El equipo encargado de la validación del mapa de cambio de superficie de bosque 2022-2023 realizó la interpretación visual individualmente y el líder del grupo quien permanentemente estuvo evaluando los avances de la interpretación y dando los lineamientos para llegar a la evaluación final del producto, para obtener un resultado acorde a la metodología planteada anteriormente.

4.4.2 Generación del proyecto

Para realizar la validación se construyó el proyecto dentro de software QGIS el cual fue almacenado dentro de la carpeta ..\Puntos_2022_2023\proyecto_2022_2023.qgz. Dentro del proyecto se cargaron las imágenes de referencia de los mosaicos de Landsat y Sentinel del 2022 y 2023, así como las imágenes disponibles en la plataforma de Planet, las imágenes Google satélite, Bing satélite, ESRI y algunas capas de información temática disponible como apoyo para la interpretación (Figura 7).

El proyecto fue compartido a cada uno de los intérpretes con la finalidad de cada uno de los mismos partiera de la misma información y con ello realizar la validación visual individual de cada uno de los puntos seleccionados. Cada uno de los intérpretes igualmente tenía las imágenes individuales las cuales a su vez sirvieron de apoyo en el momento de tener dudas sobre alguna de las muestras a clasificar.

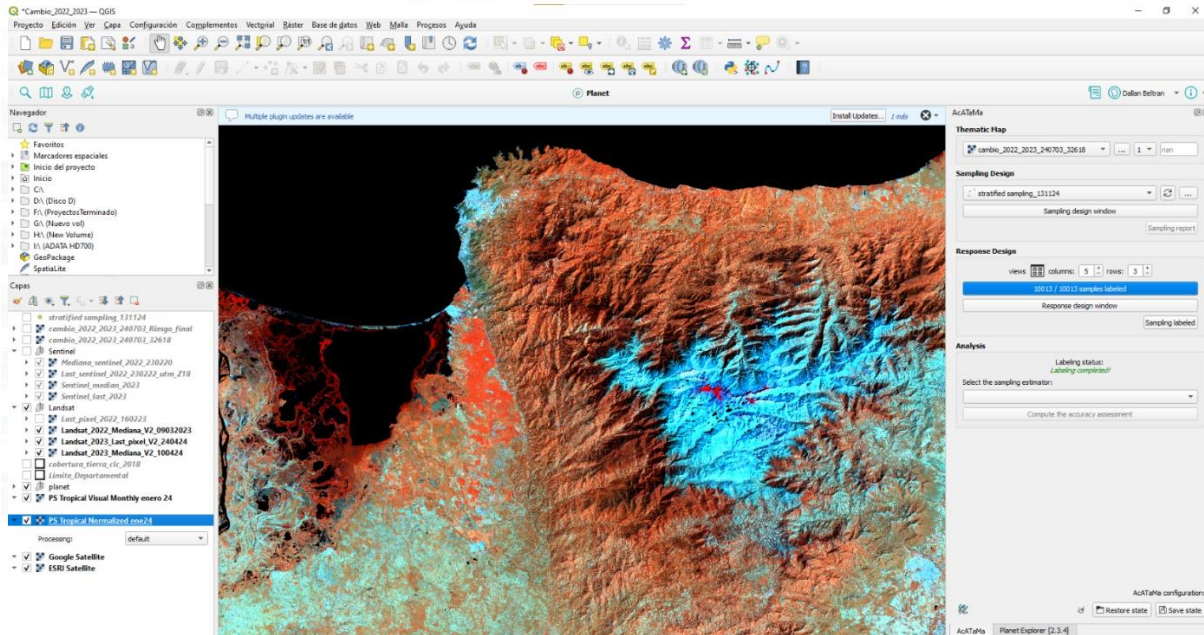


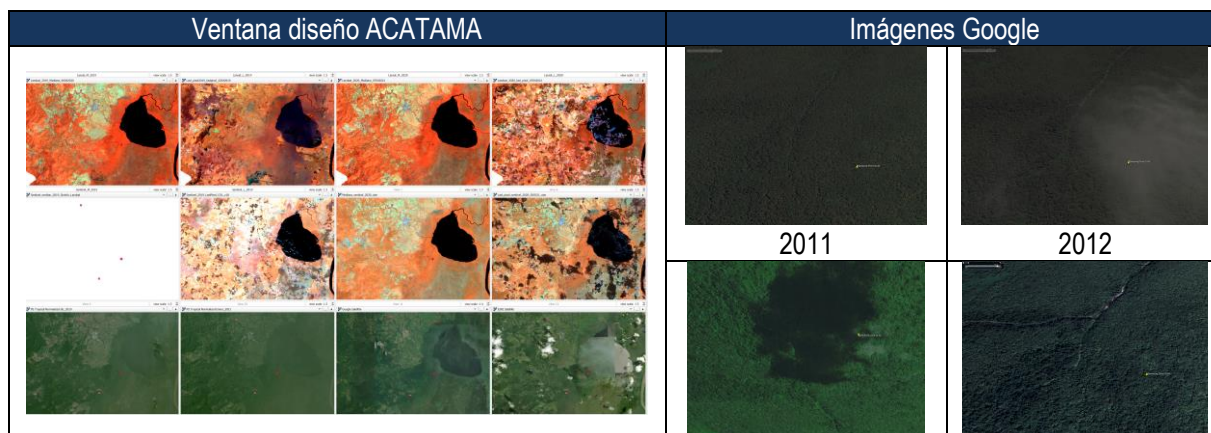
Figura 7. Proyecto QGIS, base para la validación del mapa de cambio en la superficie de bosque 2022-2023

4.4.3 Asignación de etiquetas de referencia

La capa de los 10.013 puntos de muestreo para este periodo, fue entregada a cada uno de los intérpretes de manera independiente para su interpretación visual, acorde a lo establecido en la metodología propuesta. Para ello, al igual que el mapa de bosque – no bosque, cada uno de los intérpretes con la utilización de la herramienta de QGIS ACATAMA, definiendo una escala de referencia de 200, la cual se fue modificando acorde a la dificultad de la interpretación fue realizando la interpretación de manera independiente.

Para la validación de la misma igualmente se utilizó las ayudas de las herramientas disponibles en la ventana de diseño de respuesta de Acatama, Plugin de QGIS como son:

- **Visualizador Google Earth** integrado dentro de la ventana de diseño de respuesta en Acatama, el cual vincula a Google Earth y permite ver el histórico de imágenes de Google que ayudan a analizar las tendencias de cada uno de los puntos a lo largo de varios años (de ser disponibles estas imágenes, utilizando Google Imagen (Figura 8).



| | | |
|------------------------|-----------------|------|
| Ventana diseño ACATAMA | Imágenes Google | |
| | 2020 | 2024 |

Figura 8. Vinculación de la ventana diseño de Acatama, con Google Earth (CAMBIAR)

- **Integración del complemento de detección de cambios continuos (CCD)** ubicado dentro de la ventana de diseño de respuesta en Acatama. CCD ayuda a analizar las tendencias y los puntos de quiebre del cambio de las muestras a lo largo de varios años, utilizando Landsat y Sentinel a través de Google Earth Engine (Figura 9).

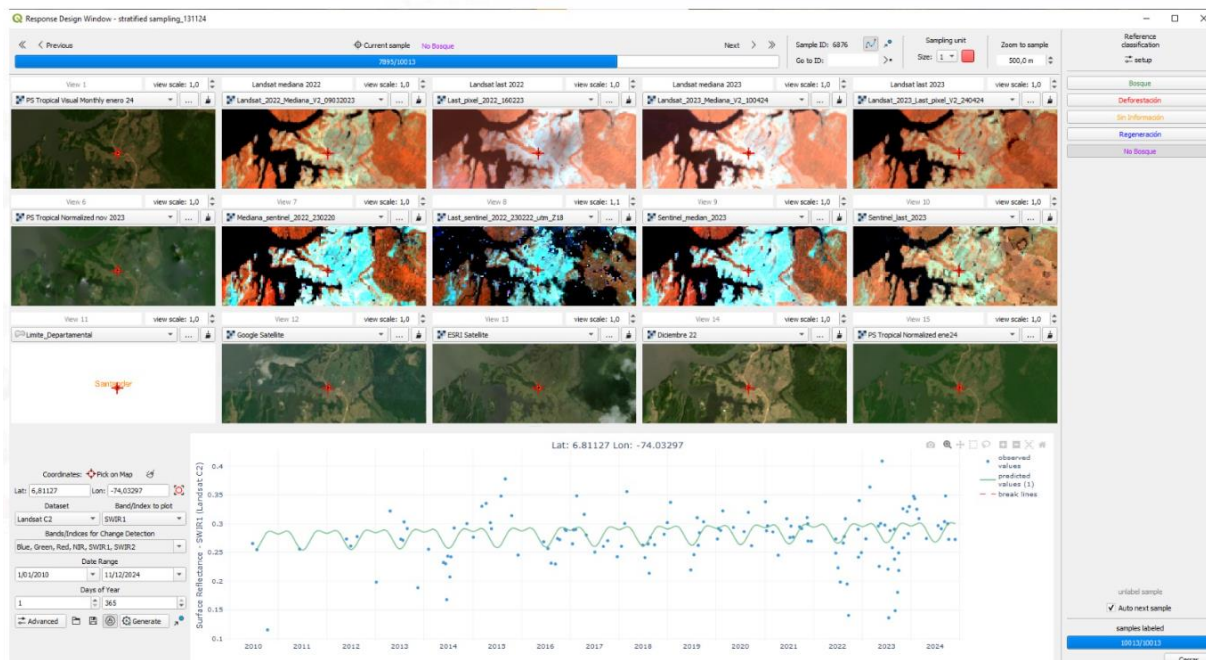


Figura 9. Vinculación de la ventana diseño de Acatama, con CCD para el periodo 2022-2023

Igualmente, y como se mencionó anteriormente, se realizó un estiramiento de corte acumulativo utilizando para ello una extensión y límites predeterminados, así como la utilización de imágenes individuales de Landsat.

Una vez finalizada la interpretación individual se integró la información y se identificó las coincidencias y desacuerdos que existieron en esta validación. La Tabla 3 muestra el número de puntos y el grado de acuerdo y desacuerdo a los que se llegó en la primera interpretación.

Tabla 3. Número de puntos de acuerdo entre los intérpretes analizados para el periodo 2022-2023

| No. Puntos | Grado de acuerdo |
|------------|---|
| 1 | Totalmente desacuerdo |
| 9777 | Totalmente de acuerdo (3 intérpretes) |
| 235 | Parcialmente de acuerdo (2 intérpretes) |

4.4.4 Control de calidad de la interpretación

En esta etapa se realizó una verificación de las asignaciones realizada por los tres intérpretes para: identificar inconsistencias sistemáticas en los criterios de interpretación, identificar áreas con dificultad de interpretación y en caso de ser necesario redefinir clases. Las diferencias en la interpretación de las clases con mayor confusión según

la matriz se dieron por: no acuerdo entre los intérpretes y áreas sin información en cualquiera de los dos periodos de evaluación.

Para este mapa, los 235 puntos de no coincidencia, se evidencio que tan solo 1 puntos estaban totalmente en desacuerdo los tres intérpretes y 235 dos intérpretes estuvieron de acuerdo en la asignación de la clase de referencia. Por otra parte, las 9.777 muestras restantes, tuvieron una baja incertidumbre, donde existió acuerdo total de los intérpretes en la asignación de las clases de referencia.

La Figura 10 muestra la distribución de los puntos no coincidentes, los cuales son representados en color negro para aquellos donde la coincidencia fue para dos intérpretes y en color rojo los que no existió ninguna coincidencia entre los tres intérpretes.

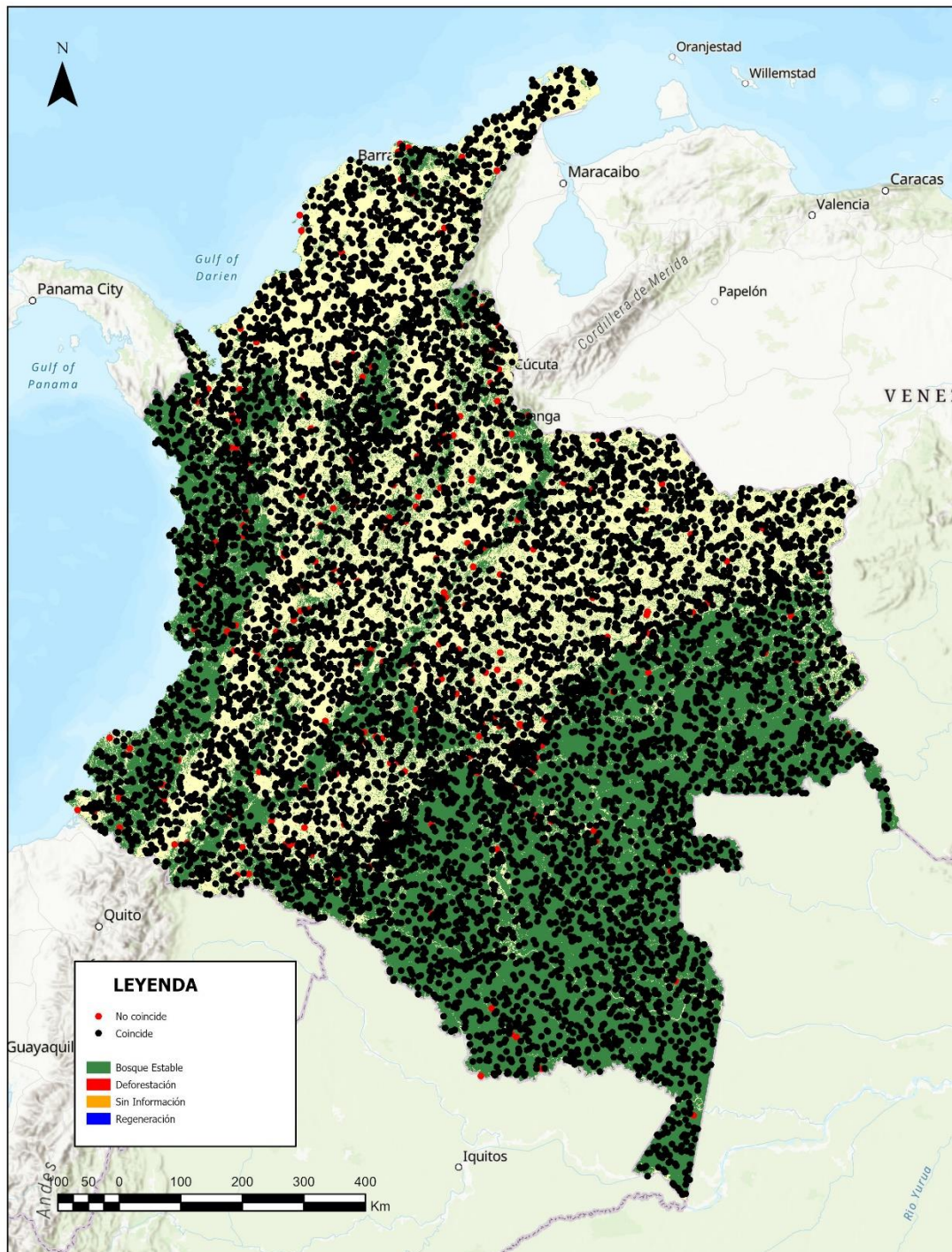


Figura 10. Distribución de los puntos de no coincidencia entre los intérpretes. (puntos negros coincidencias, puntos rojos sin coincidencias para el periodo 2022-2023)

Estos 236 puntos fueron evaluados en conjunto con el líder del equipo, llegando a un consenso sobre el mismo y 10 de los mismos fueron discutidos con el grupo del SMBYC, llegando igualmente a un consenso sobre la designación de los mismos.

4.4.5 Validación de datos (Matriz de error, cálculos de exactitud, estimadores de área ajustada, incertidumbre)

Una vez realizado el control de calidad, se generó la matriz de error o confusión convencional y la de proporción por área, así como las medidas de fiabilidad acorde a l protocolo establecido por (Galindo, Espejo, Rubiano, Vergara , & Cabrera , 2014), tomando para la evaluación de la exactitud temática el 100% de las unidades de la muestra (10.013). A partir de los datos que se observan en la Tabla 4, del total de los 10.013 puntos analizados un total de 9.809 fueron clasificados acorde al valor asignado de referencia. Estos corresponden a 4.385 puntos en la categoría de bosque, 980 en deforestación, 4 en la categoría sin información y 4.433 a la categoría no bosque, la cual corresponde a la diagonal principal de la Tabla 4, la cual se resalta en verde. En total las no coincidencias corresponden a 211 puntos, estos fueron revisados en QGIS ACATAMA, analizando el contexto general y detallando el punto para tener una visión amplia del territorio, para esto se realizó mejoramiento del histograma y tener una mejor visualización.

Tabla 4. Matriz de error tradicional y medidas de fiabilidad del periodo 2022-2023

| CLASES | Bosque (1) | Deforestación (2) | Sin información (3) | No bosque (5) | Total | Exactitud Usuario | Wi |
|----------------------------|----------------|-------------------|---------------------|----------------|-------|-------------------|----------|
| Bosque (1) | 4385 | 0 | 1 | 93 | 4479 | 0.9779 | 0.51903 |
| Deforestación (2) | 2 | 980 | 0 | 20 | 1002 | 0.97804 | 0.00069 |
| Sin información (3) | 1 | 0 | 4 | 0 | 5 | 0.8 | 0.00 |
| No bosque (5) | 93 | 0 | 1 | 4433 | 4527 | 0.97924 | 0.488027 |
| total | 4481 | 980 | 6 | 4546 | 10013 | | |
| Exactitud productor | 0.98095 | 1 | 0.01502 | 0.97757 | | | |

Comisión: Del total de 4.479 puntos clasificados en bosque dentro del mapa temático evaluado, se encontró que 4.385 puntos estaban bien clasificados, 1 correspondía a sin información y 93 a no bosque. Para los 1002 puntos clasificados en deforestación se encontró que 980 estaban bien clasificados, 2 correspondían a bosque y 20 a No bosque. Por su parte de los 5 evaluados en la clase sin información 4 estaban bien clasificados y 1 correspondía a bosque y finalmente de los 4.527 puntos en no bosque, se encontró que 4.433 estaban bien clasificados, 93 pertenecen a bosque y 1 a sin información.

Omisión: De lo anterior inferimos, que en la clase bosque faltaron 2 puntos que fueron clasificados en deforestación, 1 sin información y 93 en no bosque dentro del mapa temático. Respecto a deforestación se encontraron sin omisión. Para la clase sin información se encontró 1 clasificado en bosque y finalmente para la clase no bosque se encontró 93 e bosque y, 20 en deforestación.

La **exactitud** global del mapa es de **97.94%**, la cual está dada como el cociente entre la sumatoria de puntos de la diagonal principal sobre el total de los puntos evaluados.

En cuanto a la exactitud total del usuario fue del **93.4%** en donde para la clase bosque fue de 98%; deforestación de 97.8%, sin información de 80%, y no bosque 98%. Por otra parte, la exactitud total de productor fue de **74.3%** en donde para la case de bosque fue de 98.1%; deforestación 100%; sin información 15% y no bosque 97.8%.

Por su parte matriz de error del usuario (Tabla 5), que mide los errores de la comisión, manifiesta que los mayores errores en comisión se presentaron en: i) clase clasificada en deforestación que pertenecen a no bosque (0.01996); y ii) clase clasificada como bosque que corresponde a no bosque (0.02076). Cabe resaltar que los errores más grandes se encuentran en donde las clases tienen un área proporcionalmente inferior a las demás clases. Esto

hace que una comisión de una clase de poca área en una clase de alta área aumente de forma exponencial el error de comisión.

Tabla 5. Matriz de error de la proporción de área y medidas de fiabilidad del periodo 2022-2023

| CLASES | Bosque (1) | Deforestación (2) | Sin información (3) | No bosque (5) | Usuario | Productor |
|---------------------|------------|-------------------|---------------------|---------------|----------------|----------------|
| Bosque (1) | 0.97901 | | 0.00022 | 0.02076 | 0.9779 | 0.98095 |
| Deforestación (2) | 0.002 | 0.97804 | | 0.01996 | 0.97804 | 1 |
| Sin información (3) | 0.2 | | 0.8 | | 0.8 | 0.01502 |
| No Bosque (5) | 0.02054 | | 0.00022 | 0.97924 | 0.97924 | 0.97757 |

Por su parte la matriz de error del productor (Tabla 6) **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, mide los errores de la omisión, por ende, los mayores errores se presentaron en: i) clase clasificada en sin información (0.51421) que corresponden a bosque. ii) clase clasificada en sin información y que corresponde a no bosque (0.470771) y iii) clase clasificada como no bosque que corresponde a bosque (0.01905). Cabe resaltar que los errores más grandes se encuentran en donde las clases tienen un área proporcionalmente inferior a las demás clases. Esto hace que una omisión de una clase de poca área con respecto a una clase de alta área aumente de forma exponencial.

Tabla 6. Matriz de error de la proporción de área y medidas de fiabilidad para el periodo 2022-2023

| CLASES | Bosque (1) | Deforestación (2) | Sin información (3) | No bosque (5) | Usuario | Productor |
|---------------------|------------|-------------------|---------------------|---------------|----------------|----------------|
| Bosque (1) | 0.98095 | | 0.51421 | 0.0224 | 0.9779 | 0.98095 |
| Deforestación (2) | | 1 | | 3E-05 | 0.97804 | 1 |
| Sin información (3) | | | 0.01502 | | 0.8 | 0.01502 |
| No Bosque (5) | 0.01905 | | 0.47077 | 0.97757 | 0.97924 | 0.97757 |

Junto con esto, para cada clase se determinó el área estimada observando un error aproximado de 171,529 ha para bosque, 367 para deforestación, 17,921 para sin información y 171,461 para no bosque estable (Tabla 7).

Tabla 7. Intervalos de confianza del área estimada por clase para el periodo 2022-2023.

| CLASES | Área (ha) | Error | Límite inferior | Límite superior | In certidumbre |
|---------------------|-------------|---------|-----------------|-----------------|----------------|
| 1 (Bosque) | 59,084,590 | 171,529 | 58,748,391 | 59,420,788 | 0.00569 |
| 2 (Deforestación) | 77,502 | 367 | 76,782 | 78,221 | 0.00928 |
| 3 (Sin Información) | 25,704 | 17,921 | 0 | 60,829 | 1.36646 |
| 5 (no Bosque) | 54,874,2376 | 171,451 | 54,538,192 | 55,210,282 | 0.00612 |
| Total | 114,062,059 | | | | |

Finalmente, la incertidumbre reportada por Acatama es de 0.37 en bosque, 14% en deforestación 31% en sin información y 0.4% en no bosque

4.5 CONCLUSIONES

Acorde a cada uno de los intérpretes las principales diferencias se asocian a:

- Problemas de radiometría presente en el Last pixel asociados principalmente a sombras y nubes.
- Desplazamiento en algunas imágenes satelitales, en especial el producto Planet.
- Variación por la fenología de algunos bosques secos.
- Falta de información en algunas áreas en especial en los mosaicos de Sentinel 2022.

- Dificultades con falta de imágenes de alta resolución
- La mayoría de puntos que caen en borde hay una línea muy delgada para su clasificación, para lo cual se accedió a buscar información con mas de 6 meses de diferencia anteriores y posteriores para verificar su tendencia.

4. BIBLIOGRAFIA

- Boca, T., & Rodríguez, G. (2012). *Métodos estadísticos de la evaluación de la exactitud de productos derivados de sensores remotos*. Buenos Aires.
- Cabrera, E., Vargas, D., Galindo, G., Garcia, M., Ordoñez, M., Vergara, L., . . . Galindo, P. (2011). *Memoria técnica de la cuantificación de la deforestación histórica nacional escalas gruesas y finas*. Bogota.
- Cochran, W. (1977). *Sampling techniques*. New York: Joh Wiley & Sons.
- Defries, R., Achard, F., Brown, S., Herold, M., Murdiyarso, D., Schalamadinger, B., & Souza, D. (2006). Reducing greenhouse gas in temperate forest. *Remote Sensing Reviews*, 13(207-852).
- Galindo, G., Espejo, O., Rubiano, J., Vergara, L., & Cabrera, E. (2014). *Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia V 2.0.*. Bogotá - Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.
- Geroffrey, J., & Steiniger, S. (2018). Free and open-source geographic information tools for landscape ecology. *Ecological Informatics*, 4(183-195).
- Liu, P., Du, Q., & Wang, L. (2018). Remote sensing bid data: theory, methods and applications. *Remote Sensing*.
- Olofsson, P., Foody, G., & Herold, M. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148 (42-57).
- Olofsson, P., Foody, G., Stehman, S., & Woodcock, C. (2012). Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote Sensing of Environment*.
- Ramirez, S., Ramirez, M., Galindo, G., & Espejo, O. (2014). Evaluación de la exactitud temática del mapa de cambio de bosque para la región amazónica colombiana en el periodo 2010-2012. *Memorias XVI Simposio Internacional Selper 2014*. Medellin.
- Toure, D., Storw, D., Shih, H., Weeks, J., & Lopez-Carr, D. (2018). Land cover and land use changes analysis using multi-spectral resolution data and object-based image analysis. *Remote sensing of environment*.