



**Análisis de deforestación: Cambios en la cobertura arbórea a nivel regional en la empresa
Cartama**

Mariana Velásquez Villa

Informe de práctica presentado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Asesor

John Fernando Escobar Martínez (PhD Ingeniería)

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Ambiental
Medellín, Antioquia, Colombia
2025

Cita	(Velásquez Villa, 2025)
Referencia	Velásquez Villa, M (2025). Análisis de tasas de deforestación: Cambios en la cobertura arbórea a nivel regional en la empresa Cartama [Informe de práctica]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Contenido

Resumen	5
Abstract	6
1. Introducción	7
2. Objetivos	8
2.1 Objetivo general	8
2.2 Objetivos específicos.....	8
3. Marco teórico	9
4. Metodología	12
4.1 Fuentes de información	12
4.2 Procesamiento y análisis	12
5. Análisis de resultados.....	17
5.1 Distribución regional de las UP	17
5.2 Tasas de cambio de cobertura con GFW.....	18
5.3 Tasas de cambio de cobertura con análisis multitemporal	21
5.4 Análisis de coberturas CLC.....	23
6. Limitaciones del estudio.....	26
7. Conclusiones y recomendaciones.....	27
Referencias	29

Lista de figuras

Figura 1. Polígonos de pérdida y ganancia de la plataforma GFW en la Unidad Productiva Huertos Alto Bonito.	13
Figura 2. Mapa de análisis multitemporal de bosque natural de la Unidad Productiva Huertos Alto Bonito.	14
Figura 3. Cobertura Nacional de Suelos Corine Land Cover, unidad productiva Huertos Alto Bonito. Sobreposición Global Forest 2014-2023.	15
Figura 4. Distribución regional de las Unidades Productivas de Cartama.	17
Figura 5. Proporción de bosque natural por total de área regional	18
Figura 6. Tasa de cambio de cobertura anual GFW	19
Figura 7. Tasa de cambio de cobertura con análisis multitemporal	22
Figura 8. Distribución de coberturas Corine Land Cover por regional.	24

Siglas, acrónimos y abreviaturas

UP	Unidad Productiva
GFW	Global Forest Watch
CLC	Corine Land Cover

Resumen

Este estudio evalúa los cambios en la cobertura arbórea en las unidades productivas (UP) de la empresa Cartama, ubicadas en cinco regionales de Colombia, con el fin de apoyar su cumplimiento de los requisitos ambientales exigidos por certificaciones como Rainforest Alliance y Global GAP. Para ello, se aplicó un análisis multitemporal basado en imágenes satelitales, ortomosaicos y plataformas de monitoreo como Global Forest Watch (GFW) y Corine Land Cover (CLC). Se identificaron y cuantificaron las áreas de pérdida y ganancia de cobertura forestal entre 2014 y 2023, calculando tasas de cambio anual relativas y absolutas por regional.

Los resultados evidencian discrepancias entre los datos de GFW y los obtenidos por análisis multitemporal, siendo el caso de Concordia el más representativo: mientras GFW reporta pérdidas significativas, el análisis multitemporal indica una recuperación neta de bosque. También se identificó que buena parte de las pérdidas detectadas por GFW ocurrieron en terrenos agrícolas con vegetación secundaria o rastrojo alto, no clasificados como bosque natural. Se concluye que el análisis multitemporal con validaciones en campo y cartografía de alta resolución proporciona una visión más precisa del estado de la cobertura arbórea, y se recomienda su implementación como herramienta complementaria a plataformas globales. Esto contribuirá a una gestión territorial más informada, sostenible y alineada con los estándares internacionales del sector agroexportador.

Palabras clave: Cobertura arbórea, deforestación, análisis multitemporal, aguacate, Global Forest Watch, sostenibilidad, Cartama.

Abstract

This study evaluates changes in tree cover across the productive units (UP) of Cartama, a company operating in five regions of Colombia, with the aim of supporting compliance with environmental requirements established by certifications such as Rainforest Alliance and Global GAP. A multitemporal analysis was conducted using satellite imagery, orthomosaics, and monitoring platforms such as Global Forest Watch (GFW) and Corine Land Cover (CLC). Forest cover loss and gain were identified and quantified for the period 2014 to 2023, calculating both relative and absolute annual rates of change by region.

The results reveal discrepancies between GFW data and those obtained through the multitemporal analysis, with the case of Concordia being the most representative: while GFW reports significant losses, the multitemporal analysis indicates a net gain in forest cover. It was also found that much of the loss detected by GFW occurred in agricultural lands with secondary vegetation or tall scrub, which are not classified as natural forest. The study concludes that multitemporal analysis, combined with field validation and high-resolution cartography, offers a more accurate understanding of forest cover status. Its implementation is recommended as a complementary tool to global monitoring platforms, contributing to more informed and sustainable land management aligned with international standards in the agro-export sector.

Keywords: tree cover, deforestation, multitemporal analysis, avocado, Global Forest Watch, sustainability, Cartama, environmental certification.

1. Introducción

En los últimos cinco años, la producción de aguacate en Colombia aumentó un 34 %, impulsada por la expansión del área cosechada (29 %) y una mejora del rendimiento (5 %) (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021). Este auge productivo, promovido por la creciente demanda nacional e internacional, ha conllevado la transformación de coberturas vegetales naturales en paisajes agrícolas intensivos, generando implicaciones directas sobre la estructura y funcionalidad de los ecosistemas (Rotem, Ziv, & Bouskila, 2013).

Frente a este contexto, para la empresa Cartama es prioritario fortalecer sus compromisos con la sostenibilidad ambiental, mediante la mejora continua de sus procesos productivos y el cumplimiento de estándares internacionales. Entre sus principales metas está la obtención de certificaciones como Rainforest Alliance, la cual promueve una agricultura sostenible con enfoque integral que incluye aspectos ambientales, sociales, laborales y de salud ocupacional (Rainforest Alliance, 2023), y la certificación Global GAP, que establece buenas prácticas agrícolas con criterios exigentes en seguridad alimentaria, gestión ambiental y bienestar laboral (Global GAP, 2022).

Dentro de los requerimientos establecidos por estas certificaciones, se encuentra la necesidad de demostrar la no intervención de ecosistemas estratégicos y la ausencia de procesos de deforestación en las unidades productivas. En este sentido, el presente estudio tiene como objetivo analizar los posibles cambios en la cobertura forestal en las regionales operativas de la empresa Cartama, a partir del uso de herramientas de análisis geoespacial como el geovisor Global Forest Watch, imágenes satelitales de Google Earth Pro, ortomosaicos propios de la empresa y datos de coberturas Corine Land Cover. A través del desarrollo de un análisis multitemporal, se busca identificar transformaciones en el uso del suelo, cuantificar el cambio o tasa de cobertura boscosa y evaluar el cumplimiento de criterios de sostenibilidad ambiental. Los resultados permitirán emitir recomendaciones orientadas a fortalecer la gestión responsable del territorio y asegurar la alineación con las normativas y certificaciones vigentes en el sector agroexportador.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Analizar la deforestación en las unidades productivas de aguacate de la empresa Cartama mediante un análisis multitemporal y el uso del geovisor Global Forest Watch (GFW), enfocado en el periodo 2014–2023, a partir de la identificación de áreas con pérdida de cobertura forestal y su comparación con las coberturas de uso del suelo definidas por Corine Land Cover, con el fin de evaluar el estado actual de la empresa frente a los requerimientos de certificación ambiental y la relación entre las áreas boscosas y las actividades agrícolas.

2.2 Objetivos específicos

- Cuantificar los cambios en la cobertura arbórea de las unidades productivas de Cartama entre los años 2014 y 2023, mediante el uso de análisis multitemporal con imágenes satelitales y ortomosaicos georreferenciados, con el fin de establecer tasas de pérdida o ganancia por regional.
- Comparar los resultados del monitoreo de cambio de cobertura obtenidos con la plataforma Global Forest Watch y la cartografía Corine Land Cover, con el análisis propio, para identificar discrepancias, limitaciones técnicas y posibles sobreestimaciones o subestimaciones en la clasificación de bosque.
- Evaluar el estado actual de la cobertura forestal en relación con los requisitos de sostenibilidad exigidos por las certificaciones Rainforest Alliance y Global GAP V6, generando recomendaciones orientadas a la mejora de prácticas de manejo y conservación en las unidades productivas.

3. Marco teórico

Deforestación: causas y consecuencias

La deforestación es el proceso mediante el cual los bosques y áreas forestales se transforman en otros usos del suelo, como tierras agrícolas, ganaderas o urbanas. Este fenómeno es provocado por múltiples factores, tanto antrópicos como naturales. Entre las principales causas se encuentran la explotación forestal, la expansión de cultivos y pastizales, la urbanización y el desarrollo de infraestructura, como carreteras y presas. También contribuyen fenómenos naturales como incendios, inundaciones y deslizamientos (Geist & Lambin, 2001, 2002).

A nivel local, la deforestación incrementa la erosión del suelo, especialmente en terrenos inclinados o zonas con cobertura vegetal frágil (Bocco & García Oliva, 1992). A escala regional, altera el ciclo hidrológico, reduce la disponibilidad de agua, aumenta la escorrentía superficial y causa la sedimentación de cuerpos de agua. A nivel global, disminuye la capacidad de captura de carbono, lo que acelera el cambio climático (Guevara et al., 2004).

La agricultura y su relación con los bosques

El crecimiento agrícola, especialmente cuando no está acompañado de prácticas sostenibles, ha sido históricamente una de las principales causas de deforestación. No obstante, cuando se implementan buenas prácticas agrícolas, la agricultura puede desempeñar un papel clave en la conservación del suelo y el agua, así como en la estabilización del clima. La coexistencia entre bosques y agricultura es posible si se aplican estrategias de manejo sostenible del paisaje que incluyan corredores biológicos, áreas de conservación y restauración ecológica (FAO, 2016).

Cultivo de aguacate y expansión territorial

En el contexto colombiano, el cultivo de aguacate ha tenido un crecimiento significativo en los últimos diez años, con una expansión centrada en áreas de clima frío moderado (1 800–2 500 msnm). La variedad Hass se posiciona como la predominante, con Antioquia destacándose

como el principal epicentro productivo (Gil, Sánchez & Osorio, 2014). En Colombia, se ha adoptado el enfoque de “Cero Deforestación Bruta”, que busca reducir la pérdida neta de bosque a través de compromisos voluntarios entre actores públicos, privados y sociales. El cultivo de aguacate, al igual que otras agroindustrias como la palma, el cacao o el café, enfrenta el desafío de vincularse a esta estrategia nacional. Actualmente, se están desarrollando acuerdos sectoriales de Cero Deforestación en el gremio aguacatero, liderados por el Ministerio de Ambiente y organizaciones aliadas, con el fin de promover una producción sostenible que anticipe los requerimientos ambientales de los mercados internacionales (CorpoHass, 2024).

Certificaciones ambientales: Rainforest Alliance y Global GAP

Las certificaciones ambientales han cobrado relevancia como mecanismos de mercado que garantizan prácticas sostenibles en la producción agrícola. La certificación Rainforest Alliance, por ejemplo, exige que no se haya realizado deforestación después del año 2014 (Rainforest Alliance, 2023), mientras que Global GAP fija su fecha de corte en 2008 (Global GAP, 2022). Ambas certificaciones requieren el mantenimiento de áreas naturales, la delimitación de zonas de conservación y restauración, y la implementación de monitoreos geoespaciales que evidencien el cumplimiento.

Análisis multitemporal de coberturas

El análisis multitemporal consiste en comparar imágenes o datos espaciales de distintos periodos con el fin de detectar cambios en el uso y cobertura del suelo. Esta técnica es fundamental para estudios de cambios de cobertura, ya que permite cuantificar la pérdida o recuperación de áreas forestales a lo largo del tiempo, evaluar tendencias regionales y establecer relaciones con factores socioeconómicos o normativos (Chuvieco, 2010).

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Para estudiar los cambios en la cobertura del suelo, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas fundamentales que permiten identificar los cambios en el uso del suelo a

lo largo del tiempo y el espacio. Estos sistemas permiten aproximarse a la realidad mediante la interacción de factores físicos, naturales y humanos (Pineda et al., 2009). Además, el uso de estas herramientas es esencial para el análisis y la cuantificación de coberturas, así como para la identificación de áreas recuperables que ayuden a mantener la biodiversidad (Varga Linde & Vila Subirós, 2006).

Herramientas de monitoreo satelital: GFW y Corine Land Cover

El uso de plataformas de monitoreo como *Global Forest Watch* (GFW) ha facilitado el acceso a información sobre la pérdida y ganancia de cobertura boscosa en todo el mundo. Las herramientas que ofrecen información espacial explícita y anualizada sobre pérdida y ganancia de bosques resultan esenciales para cuantificar tendencias y evaluar el impacto en servicios ecosistémicos como el almacenamiento de carbono, la regulación climática y la conservación de la biodiversidad. (Hansen et al., 2013). Por su parte, el sistema de clasificación *Corine Land Cover* (CLC) ofrece una tipología armonizada de coberturas del suelo a nivel europeo y ha sido adaptado en algunos países latinoamericanos como referencia para análisis de uso del suelo en diferentes niveles de detalle.

4. Metodología

El presente estudio adopta un enfoque cuantitativo, ya que se fundamenta en la recolección, análisis y comparación de datos geoespaciales, porcentajes de cobertura, tasas de cambio y métricas ambientales. Asimismo, el diseño es no experimental y longitudinal, dado que no se manipulan variables, sino que se observan y analizan los cambios ocurridos en el territorio a lo largo del tiempo.

4.1 Fuentes de información

Se utilizaron imágenes satelitales obtenidas mediante plataformas como Google Earth Pro, ortomosaicos proporcionados por los recursos cartográficos de la empresa y el geovisor Global Forest Watch (GFW), que permiten identificar zonas con pérdida de cobertura forestal. A partir de estas imágenes, se digitalizaron manualmente las áreas de bosque en diferentes periodos, lo que permitió construir un análisis multitemporal de cobertura.

Adicionalmente, se empleó la clasificación de uso del suelo del Corine Land Cover (adaptado por el IDEAM), para categorizar cada unidad productiva en función de las coberturas predominantes, tales como "Territorio agrícola" y "Bosques y áreas seminaturales".

4.2 Procesamiento y análisis

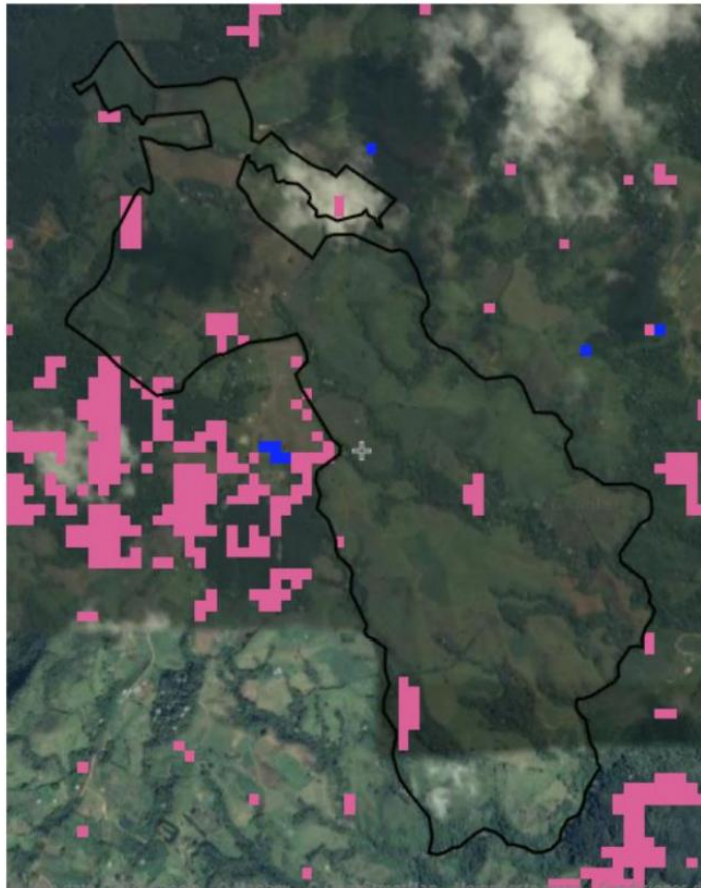
El procesamiento cartográfico se llevó a cabo en QGIS 3.22, donde se digitalizaron las coberturas forestales por unidad productiva en los dos periodos de análisis. Posteriormente, se calcularon las tasas de cambio relativas anuales de cobertura para cada unidad y se agregaron por regional. Estas tasas se compararon con el porcentaje de área ambiental neta, con el fin de evaluar si existe alguna correlación entre la conservación de áreas naturales y la reducción de deforestación.

La información cuantitativa fue sistematizada y analizada en Microsoft Excel y Python, utilizando gráficos de barras apiladas, diagramas de dispersión y análisis estadístico descriptivo para facilitar la interpretación de los resultados. A continuación, se muestra el procedimiento detallado.

Identificación de polígonos de deforestación en el geovisor GFW

Por medio del geovisor de Global Forest Watch y con el archivo .kmz del lindero de cada unidad productiva, se identificaron los polígonos de pérdida y ganancia de cada unidad productiva. En la Figura 1 se muestra como ejemplo la Unidad Productiva Huertos Alto Bonita, de la regional Guática.

Figura 1. Polígonos de pérdida y ganancia de la plataforma GFW en la Unidad Productiva Huertos Alto Bonito.



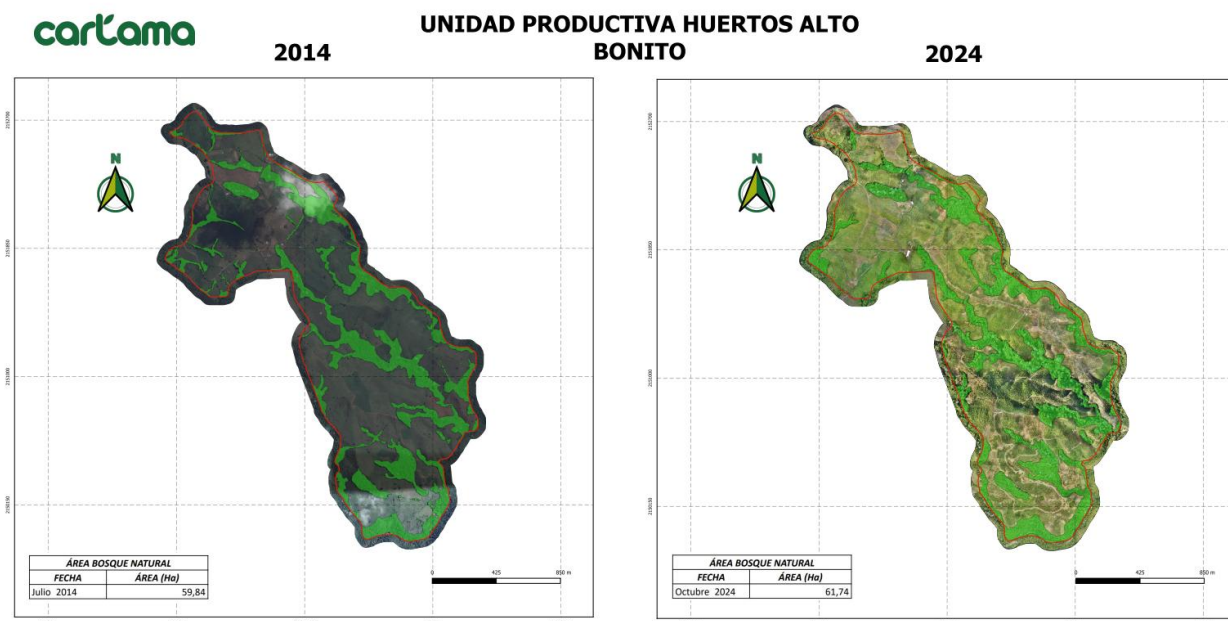
Nota: Fuente: www.globalforestwatch.org.

Ya que el geovisor de GFW no permite la descarga de archivos espaciales, se tomó captura de la imagen y por medio de la herramienta de georreferenciación de Qgis y la digitalización de los polígonos se pudo obtener la capa espacial.

Análisis multitemporal de coberturas

A partir de las imágenes satelitales históricas obtenidas mediante Google Earth Pro y de los ortomosaicos más recientes disponibles en los recursos cartográficos de la empresa, se realizó la digitalización manual de las áreas de bosque para ambos periodos. Esta digitalización permitió calcular la variación en el área boscosa a lo largo del tiempo. En la Figura 2 se presenta el mapa multitemporal resultante.

Figura 2. Mapa de análisis multitemporal de bosque natural de la Unidad Productiva Huertos Alto Bonito.

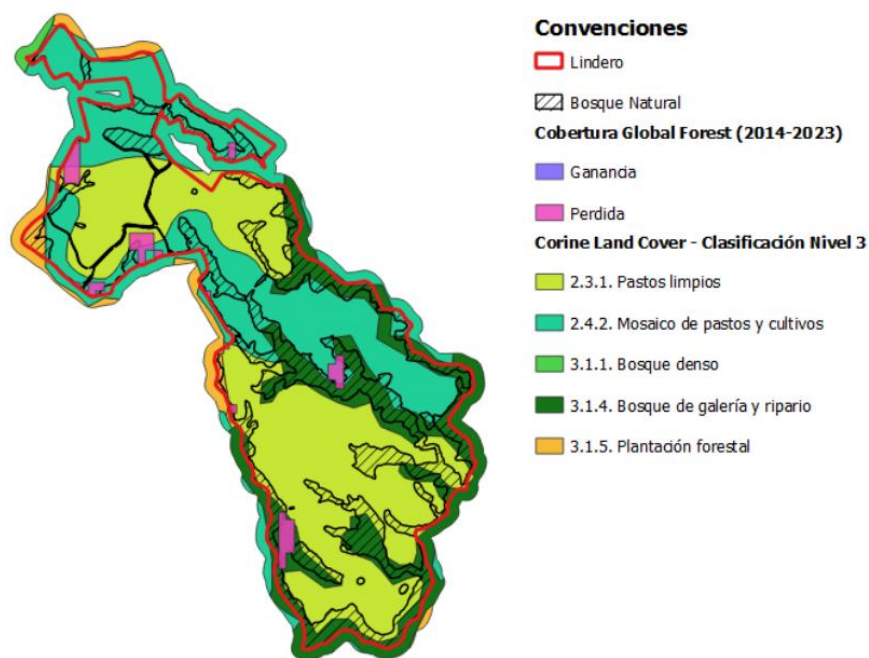


Análisis coberturas CLC

A partir de las imágenes satelitales históricas obtenidas mediante Google Earth Pro, junto con los ortomosaicos más recientes disponibles en los recursos cartográficos de la empresa, se realizó la digitalización manual de las áreas boscosas correspondientes a ambos periodos de análisis. Este proceso permitió calcular la variación en la cobertura forestal a lo largo del tiempo. El resultado se representa en el mapa multitemporal mostrado en la Figura 3.

Adicionalmente, se utilizaron los datos vectoriales de coberturas del Corine Land Cover (CLC) para cada una de las unidades productivas, con el fin de cuantificar el porcentaje correspondiente a cada categoría de uso del suelo. Esta información fue representada visualmente mediante la sobreposición de los polígonos de pérdida de cobertura del Global Forest Watch (GFW), facilitando su interpretación espacial. Cabe destacar que, aunque para efectos de auditoría de las certificaciones Rainforest Alliance y Global GAP se emplea el Nivel 3 de clasificación del CLC, en este informe se utilizó el Nivel 1, con el fin de simplificar el análisis y mejorar la interpretación de los datos.

Figura 3. Cobertura Nacional de Suelos Corine Land Cover, unidad productiva Huertos Alto Bonito. Sobreposición Global Forest 2014-2023.



Procesamiento de datos y generación de gráficos

Posterior al análisis geoespacial, los datos obtenidos fueron sistematizados en una base de datos estructurada en Microsoft Excel, en la cual se integraron variables como el nombre de la unidad productiva, regional, áreas de bosque digitalizadas por periodo, tasa de cambio relativa de cobertura, porcentaje de coberturas por categoría Corine Land Cover (nivel 1), y área ambiental

neta. Esta base permitió establecer relaciones entre variables clave para el análisis multitemporal de la deforestación y su interacción con los usos del suelo.

Con el objetivo de fortalecer el análisis exploratorio y visual, se empleó el lenguaje de programación Python, utilizando librerías especializadas como pandas para el procesamiento de datos tabulares, matplotlib y seaborn para la visualización gráfica, y numpy para operaciones estadísticas. A través de este entorno, se generaron gráficos de barras apiladas, diagramas de dispersión y cálculos de promedios ponderados, entre otros productos visuales, con el propósito de facilitar la interpretación de patrones regionales, diferenciar dinámicas de pérdida de cobertura forestal y contrastar los resultados con los requerimientos establecidos por certificaciones como Rainforest Alliance y Global GAP.

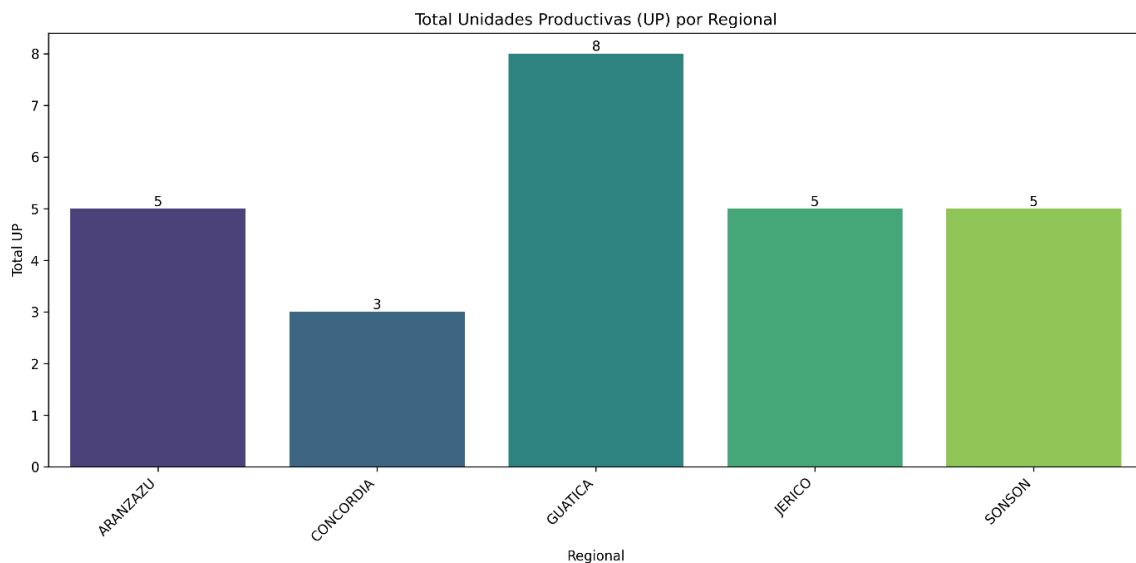
Esta etapa fue esencial para consolidar un análisis integral, no solo desde una perspectiva espacial, sino también cuantitativa, permitiendo evaluar con mayor precisión el desempeño ambiental de cada unidad productiva.

5. Análisis de resultados

5.1 Distribución regional de las UP

Cartama cuenta con un total de 38 UP distribuidas entre los departamentos de Antioquia, Caldas y Risaralda. De estas, 26 se encuentra en estado de producción y por lo tanto con posibilidad de certificación ante el sello Rainforest Alliance y Global GAP V6 para el año 2025, por tal motivo, estas son el objetivo de estudio. Tal como se muestra en la , la regional de Guática agrupa la mayor cantidad de UP (8), seguida por Sonsón, Aránzazu y Jericó (5 cada una), y finalmente Concordia con 3. Esta distribución evidencia una mayor concentración de la actividad aguacatera de la empresa en determinados territorios, lo cual se asocia a factores como condiciones agroclimáticas favorables, disponibilidad de infraestructura o niveles más altos de inversión y tecnificación agrícola.

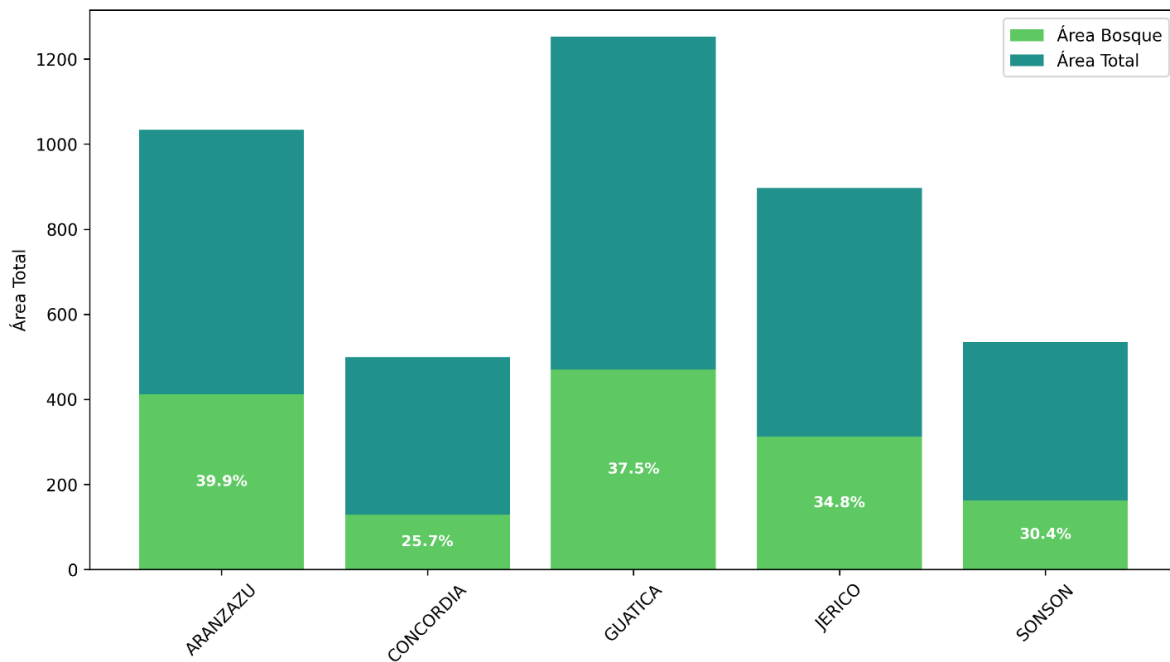
Figura 4. Distribución regional de las Unidades Productivas de Cartama.



En conjunto, las UP en estado productivo abarcan aproximadamente 4.215 hectáreas, distribuidas principalmente en Guática con 1.252 hectáreas, seguida por Aránzazu (1.033 ha), Jericó (896 ha), Sonsón (534 ha) y Concordia (500 ha). Al analizar la proporción entre el área total de cada regional y su respectiva cobertura boscosa (Figura 5), se observa que Aránzazu presenta el

mayor porcentaje de bosque, con un 39,9%, seguida por Guática (37,5%), Jericó (34,8%), Sonsón (30,4%) y Concordia, que registra el valor más bajo con un 25,7% de su superficie cubierta por bosque. Esta área de bosque reportada es la que se encuentra digitalizada sobre los ortomosaicos georreferenciados de las UP mediante levantamiento fotogramétrico con dron, por lo cual es la representación del estado actual.

Figura 5. Proporción de bosque natural por total de área regional



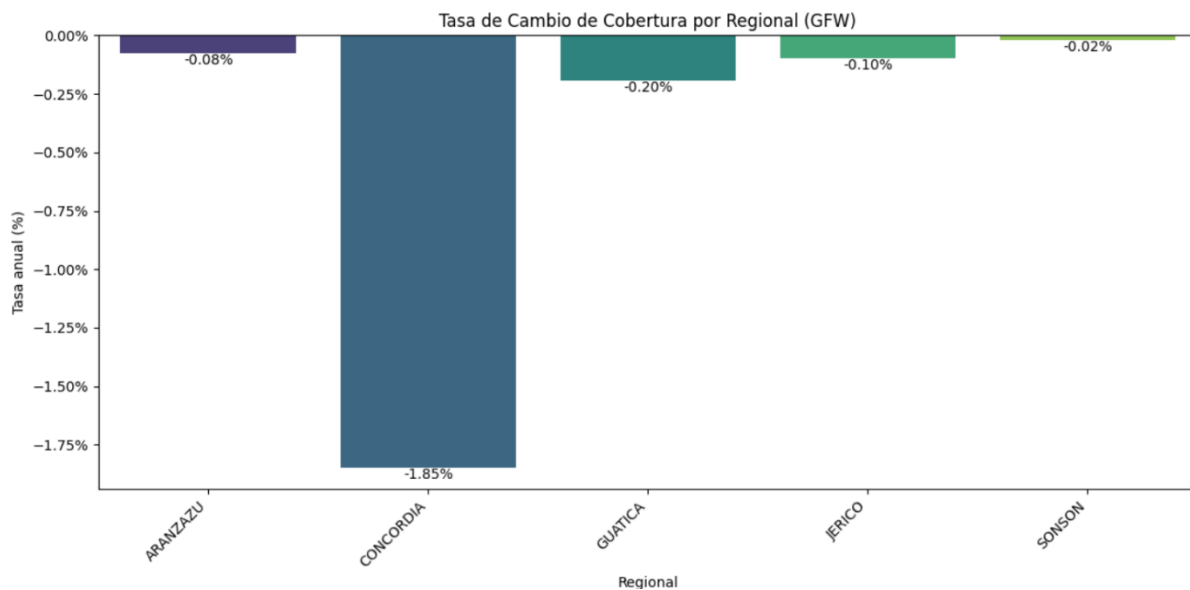
Estos resultados evidencian que, aunque las regionales con mayor superficie agrícola tienden a conservar una cantidad importante de cobertura forestal, esto no siempre se traduce en una mayor proporción relativa. Tal es el caso de Guática, que, si bien concentra la mayor extensión total, no lidera en porcentaje de área boscosa. Esta situación podría estar relacionada con los patrones de ocupación del suelo o con la intensidad del uso agrícola, que varía entre las regionales.

5.2 Tasas de cambio de cobertura con GFW

Como parte fundamental de la certificación para Rainforest y Global GAP, se usa el geovisor Global Forest Watch (GFW) para visualizar el cambio de cobertura arbórea. Como parte

de este estudio, se toma como referencia el requerimiento del sello Rainforest, que exige el análisis de cambio de cobertura en el periodo 2014-2023 y que abarca el rango de fechas en donde se iniciaron labores de mecanización, adecuación y siembra de las UP. En la Figura 6, se puede evidenciar la tasa de cambio de cobertura anual a partir de los datos de Global Forest Watch. Estos datos explican cuanto es el porcentaje del área total de cada regional que cambia anualmente, de manera que se puede dar un análisis estandarizado para poder comparar las regionales.

Figura 6. Tasa de cambio de cobertura anual GFW



Al relacionar la tasa anual de cambio de cobertura forestal (Figura 6) con la superficie total y proporción de área boscosa por regional (Figura 5), se evidencian patrones diferenciales de transformación del paisaje dentro de las unidades productivas de la empresa. La regional Concordia se posiciona como la más crítica en términos de deforestación, con una tasa anual de pérdida del -1,85 %, lo que equivale a una reducción de aproximadamente 9,25 hectáreas por año sobre su área total de 500 hectáreas. Este resultado adquiere mayor relevancia al considerar que Concordia ya cuenta con la menor proporción de bosque natural entre todas las regionales (25,7 %).

En Guática, aunque se dispone de la mayor superficie total (1.252 ha), la tasa de pérdida es más moderada, con un -0,20 % anual, lo que representa una pérdida estimada de 2,5 hectáreas al

año. Esta regional cuenta con un 37,5 % de cobertura boscosa, por lo que los procesos de deforestación pueden estar ocurriendo en zonas más periféricas o de borde de bosque.

La regional Jericó, con un área total de 900 hectáreas y un 34,8 % de cobertura forestal, reporta una tasa anual de pérdida de -0,10 %, lo cual equivale a 0,9 hectáreas deforestadas por año. Aránzazu, por su parte, presenta una pérdida más baja (-0,08 %), lo que representa 0,83 hectáreas por año sobre un total de 1.033 ha. Esta última también posee la mayor proporción de cobertura boscosa (39,9 %), lo que sugiere una mayor estabilidad o conservación del territorio.

Finalmente, Sonsón reporta la tasa de pérdida más baja, con -0,02 % anual, equivalente a 0,11 hectáreas por año sobre un total de 534 ha. Este comportamiento podría estar vinculado a una menor presión sobre los bosques o a una actividad agropecuaria menos intensa en términos de expansión sobre áreas naturales.

Es fundamental considerar los periodos en los que Cartama inició operaciones en cada regional, ya que los datos reportados por Global Forest Watch (GFW) podrían estar capturando procesos de pérdida de cobertura anteriores a la adquisición de los predios por parte de la empresa. En particular, la regional de Concordia, que se identifica como una de las más críticas en términos de pérdida de cobertura forestal, inició labores en el año 2021 (ver Tabla 1). Antes de ese periodo, el predio se destinaba a la producción de café. Una posible explicación para las pérdidas registradas por GFW podría estar asociada al proceso de transición del cultivo de café al aguacate, el cual implicó intervenciones en el uso del suelo y modificaciones en la cobertura vegetal. Es probable que dichas áreas, aunque no correspondieran estrictamente a bosque natural, hayan sido clasificadas por la plataforma como zonas de pérdida de cobertura forestal debido al cambio en la estructura del dosel vegetal durante la conversión del uso productivo.

Regional	Inicio de labores
Aránzazu	2018
Concordia	2021
Guática	2013
Jericó	2019
Sonsón	2021

Tabla 1. Año de inicio de labores por Regional

La plataforma Global Forest Watch (GFW), si bien constituye una herramienta ampliamente reconocida a nivel global para el monitoreo de coberturas forestales, presenta limitaciones técnicas que deben ser tenidas en cuenta al momento de interpretar sus resultados. Una de las principales restricciones está relacionada con su resolución espacial, dado que el tamaño de píxel (aproximadamente 30 metros) dificulta la detección precisa de cambios en superficies pequeñas, especialmente aquellas inferiores a una hectárea. Esta limitación puede derivar en errores de sobreestimación o subestimación en los polígonos de pérdida y ganancia de cobertura.

Adicionalmente, en predios donde existe vegetación secundaria densa o rastrojo alto, GFW puede interpretar erróneamente las actividades de manejo silvicultural, como la limpieza o la poda, como pérdida de cobertura arbórea, mientras que la posterior regeneración de la vegetación podría clasificarse como una ganancia. Esta condición podría explicar las tasas negativas observadas en algunas regionales, donde la mayoría de los predios, antes de su adquisición, se encontraban destinados a actividades ganaderas o estaban en estado de abandono, lo que implicó la necesidad de realizar intervenciones de limpieza y adecuación del terreno al iniciar labores productivas.

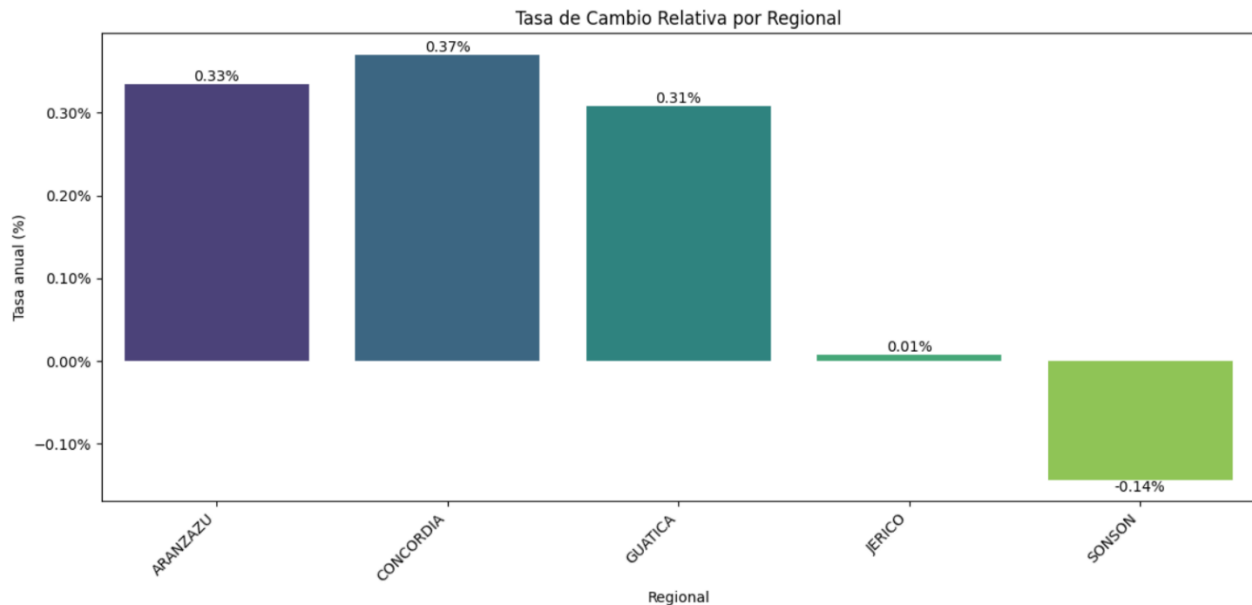
Dado lo anterior, se hace evidente la necesidad de complementar los datos obtenidos mediante GFW con metodologías adicionales, como el análisis multitemporal con imágenes de mayor resolución o validaciones en campo, que permitan mejorar la precisión del diagnóstico y contextualizar adecuadamente los cambios de cobertura observados.

5.3 Tasas de cambio de cobertura con análisis multitemporal

Para el análisis multitemporal se utilizaron las imágenes satelitales más antiguas disponibles de Google Earth Pro para cada Unidad Productiva (UP), lo que generó un rango variable en los periodos de comparación entre predios. Debido a esta variabilidad temporal, se optó por calcular las tasas de cambio de cobertura de forma relativa y anualizada, lo cual permite normalizar los datos y facilitar la comparación entre regionales. En la Figura 7 se presentan estos

resultados, expresados como porcentaje del área total, lo que proporciona una visión más equitativa de la dinámica de cobertura forestal en cada zona.

Figura 7. Tasa de cambio de cobertura con análisis multitemporal



La regional Concordia presenta la tasa de cambio positiva más alta (0,37%), seguida de Aránzazu (0,33%) y Guática (0,31%), lo que indica un aumento progresivo de cobertura arbórea en estas zonas durante el periodo analizado. Jericó, aunque con una tasa cercana a cero (0,01%), muestra una ligera ganancia, mientras que Sonsón es la única regional que reporta una tasa negativa (-0,14%), lo cual implica una pérdida neta de cobertura forestal.

Al convertir las tasas relativas de cambio obtenidas por el análisis multitemporal en valores absolutos (hectáreas por año), se observa que la regional Guática es la que más cobertura arbórea ha recuperado, con una ganancia estimada de 3,89 ha/año, seguida por Aránzazu (3,42 ha/año) y Concordia (1,86 ha/año). Aunque Concordia tiene una menor área total, su tasa relativa más alta (0,37%) le permite destacarse entre las regionales con aumento de cobertura.

En contraste, Sonsón es la única regional que presenta una pérdida de cobertura arbórea, con una tasa relativa negativa de -0,14%, lo que representa una reducción aproximada de 0,75 hectáreas por año. Este comportamiento puede estar asociado a varios factores. Por un lado, dos de

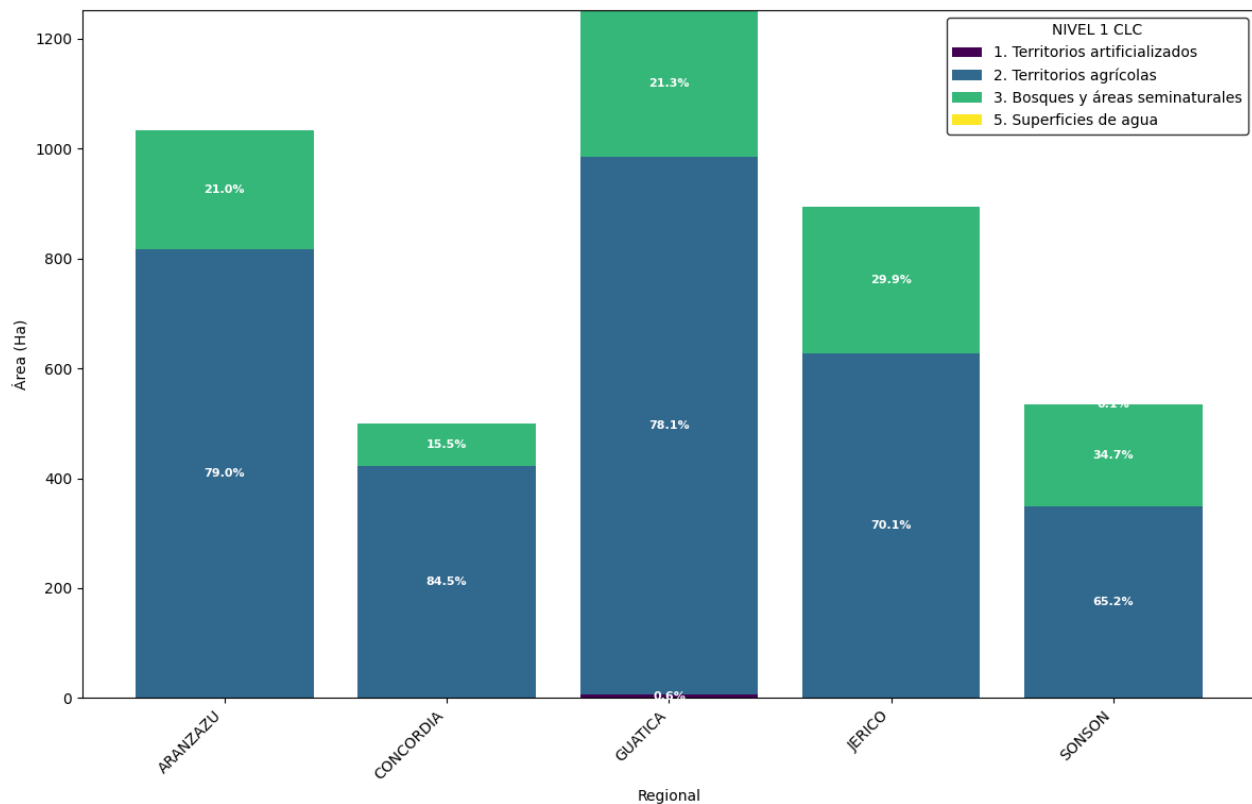
las unidades productivas (UP) de la regional cuentan con permiso de aprovechamiento forestal para la apertura de vías, lo que implica intervenciones autorizadas sobre la vegetación. Por otro lado, antes de ser adquiridos por Cartama, algunos de los predios no desarrollaban actividades agrosilvopastoriles y se encontraban cubiertos por rastrojo alto y vegetación secundaria densa. Estas condiciones, al momento de realizar las labores iniciales de limpieza y adecuación del terreno, pudieron haber sido interpretadas como pérdida de cobertura en el proceso de digitalización, generando una posible confusión en la clasificación del cambio.

Al comparar estos valores con las tasas obtenidas a partir de Global Forest Watch (GFW), se evidencia una diferencia sustancial. GFW reporta pérdidas significativas en Concordia (-9,30 ha/año), lo que contrasta fuertemente con el análisis multitemporal que indica ganancia. Esta diferencia sugiere que GFW pudo haber registrado transformaciones previas a la adquisición de los predios por parte de la empresa, o estar sobreestimando pérdida por su resolución espacial y criterios de clasificación.

Estas discrepancias refuerzan la necesidad de complementar los datos de GFW con análisis multitemporales personalizados, especialmente cuando se evalúan unidades productivas con prácticas de manejo activo o procesos de reconversión de uso del suelo, como la transición de café a aguacate.

5.4 Análisis de coberturas CLC

En el análisis de sobreposición entre los polígonos de pérdida reportados por GFW y las coberturas CLC, se observó que la mayoría de las pérdidas reportadas por el geovisor, se estaban dando en el Territorio agrícola, lo que justifica las actividades de adecuación y limpieza del terreno sobre áreas que contaban con vegetación alta no forestal. En la Figura 8 se observa la proporción de coberturas por regional.

Figura 8. Distribución de coberturas Corine Land Cover por regional

A nivel general, se evidencia un predominio de los territorios agrícolas en todas las regionales, siendo Concordia la que presenta la mayor proporción con un 84.5%, seguida de Aránzazu (79.0%), Guática (78.1%) y Jericó (70.1%). Sonsón, aunque también presenta un alto porcentaje de uso agrícola (65.2%), es la regional con mayor proporción de coberturas de bosques y áreas seminaturales (34.7%), superando incluso a Jericó (29.9%). Es relevante destacar que Guática es la única regional que registra un pequeño porcentaje de territorios artificializados (0.6%), lo cual puede corresponder a infraestructura asociada a la producción.

Al contrastar esta distribución con la gráfica de área total y porcentaje de bosque por regional, se identifican algunas correspondencias y diferencias clave. Por ejemplo, Aranzazu, Guática y Jericó presentan los mayores porcentajes de cobertura boscosa relativa (39.9%, 37.5% y 34.8% respectivamente), lo cual concuerda con los porcentajes de bosques y áreas seminaturales reportados por Corine (aunque con una ligera subestimación en Corine). En cambio, en Sonsón, que según Corine alcanza el 34.7% de coberturas naturales, en el análisis de distribución interna

sólo se registra un 30.6% como área boscosa. Esta diferencia puede deberse a las definiciones de clasificación: Corine puede incluir vegetación secundaria, rastrojos y coberturas seminaturales no clasificadas estrictamente como bosque. Por su parte, Concordia confirma su menor proporción de bosque en ambas fuentes: apenas un 15.5% en Corine y un 25.7% en el análisis multitemporal, lo que resalta su perfil de regional más transformada hacia el uso agrícola. Esta comparación demuestra que, aunque ambas metodologías son complementarias, la clasificación multitemporal brinda una visión más detallada y reciente del estado de la cobertura arbórea en las unidades productivas.

6. Limitaciones del estudio

Este estudio presenta algunas limitaciones metodológicas y técnicas que deben ser consideradas al interpretar los resultados. Una de las principales restricciones fue la dependencia de la resolución espacial de las imágenes satelitales utilizadas. Al trabajar con unidades productivas (UP) de diferentes tamaños, especialmente entre 50 y 200 hectáreas, la resolución de los píxeles influyó en la precisión del análisis, dificultando la identificación clara de coberturas específicas en áreas pequeñas o con cobertura mixta.

Asimismo, no fue posible acceder a imágenes correspondientes al mismo año para todas las UP, lo que limitó la posibilidad de realizar comparaciones directas en un mismo periodo temporal. Para contrarrestar esta situación, se recurrió al cálculo de una tasa de cambio relativa anual de cobertura, lo que permitió estandarizar los datos y hacer un análisis cruzado entre predios con periodos de observación distintos, aunque con una pérdida relativa de exactitud temporal.

Otro aspecto para considerar es la subjetividad inherente al proceso de digitalización manual, especialmente en zonas con cobertura arbórea intermedia o vegetación secundaria. Aunque se aplicaron criterios estandarizados, la interpretación visual puede variar ligeramente entre operadores, introduciendo un margen de error en la delimitación de coberturas.

Finalmente, se identificaron posibles errores de interpretación en plataformas globales de monitoreo, como Global Forest Watch. En algunos casos, áreas con vegetación secundaria, rastrojo alto o limpiezas temporales del terreno fueron clasificadas erróneamente como deforestación. De igual manera, la regeneración natural o crecimiento de vegetación en zonas previamente intervenidas fue tomada como ganancia de bosque, sin diferenciar entre bosque maduro y vegetación de transición. Estas inconsistencias, junto con el tamaño del píxel en estas plataformas, pueden haber afectado la precisión del análisis de cambios de cobertura.

7. Conclusiones y recomendaciones

La distribución regional de las unidades productivas (UP) de Cartama revela una estrategia de expansión centrada en territorios con ventajas agroclimáticas, buena infraestructura y alto nivel de tecnificación agrícola. Guática, Aránzazu y Jericó concentran la mayoría de las unidades en producción, lo cual refleja una priorización territorial para el desarrollo del cultivo de aguacate con fines de certificación internacional.

Respecto a la cobertura boscosa, se presentan diferencias notables entre las regionales. Aránzazu lidera en proporción de bosque, seguida de Guática y Jericó, mientras que Concordia registra el valor más bajo, lo que la señala como la más intervenida en términos de transformación del paisaje. Sin embargo, el análisis multitemporal sugiere que parte de estos cambios pueden estar vinculados a actividades anteriores a la adquisición de los predios, como el reemplazo de cultivos o la reconversión del uso del suelo.

Al comparar las tasas de cambio de cobertura reportadas por Global Forest Watch (GFW) con las obtenidas mediante análisis multitemporal detallado, se evidencian discrepancias significativas, especialmente en Concordia. Mientras GFW reporta una pérdida considerable, el análisis multitemporal muestra ganancia neta de cobertura arbórea, lo que resalta las limitaciones técnicas de la plataforma, como su resolución espacial y sus criterios de clasificación. A esto se suma la diferencia con las coberturas Corine Land Cover (CLC), que tienden a subestimar el bosque natural frente al análisis interno de Cartama.

Con el fin de cumplir con los requisitos de certificaciones como Rainforest Alliance y Global GAP V6, se recomienda fortalecer el monitoreo del cambio de cobertura mediante análisis multitemporales de alta resolución y validaciones en campo, lo que permitirá superar las limitaciones de plataformas como Global Forest Watch. Es crucial tomar como referencia el año de inicio de operaciones en cada predio para evitar atribuciones erróneas de deforestación, y mantener trazabilidad clara en casos de intervenciones autorizadas. Además, se sugiere ajustar los criterios internos de clasificación de coberturas, diferenciando adecuadamente entre rastrojos,

vegetación secundaria y bosque natural, lo cual facilitará una gestión más sostenible y estratégica del territorio, especialmente en zonas con alta cobertura boscosa.

Referencias

- Bocco, G., & García-Oliva, G. (1992). Researching gully erosion in Mexico. *Journal of Soil and Water Conservation*, 47(5), 365–367.
- Chuvieco, E. (2010). *Fundamentos de teledetección ambiental* (3.ª ed.). Ediciones Rialp.
- CorpoHass. (2024). *Lineamientos para la producción sostenible de aguacate en Colombia*. <https://www.corpohass.com/content/uploads/2024/12/lineamientos-para-la-produccion-sostenible-de-aguate-en-colombia.pdf>
- FAO. (2016). *El estado de los bosques del mundo 2016*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org>
- Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2001). *What drives tropical deforestation?* LUCC Report Series, 4, 1–116.
- Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2002). Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation: Tropical forests are disappearing as the result of many pressures, both local and regional, acting in various combinations in different geographical locations. *BioScience*, 52(2), 143–150. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0143:PCAUDF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2)
- Gil, J. G. R., Sánchez, D. A. C., & Osorio, J. G. M. (2014). Estudios etiológicos de la marchitez del aguacate en Antioquia-Colombia. *Revista Ceres*, 61(1), 50–61. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2014000100007>
- GLOBALG.A.P. (2022). *Puntos de control y criterios de cumplimiento para frutas y hortalizas* (Versión 6.0, septiembre de 2022). https://documents.globalgap.org/documents/221103_IFA_GFS_PC_s_FV_v6_0_Sep22_es.pdf
- Guevara, S., Sánchez-Ríos, G., & Landgrave, R. (2004). La deforestación. En S. Guevara, G. Sánchez-Ríos & R. Landgrave (Eds.), *Los Tuxtlas. El paisaje de la sierra* (pp. 85–108). Instituto de Ecología, A.C.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., & Townshend, J. R. G. (2013). High-resolution global maps of 21st-

- century forest cover change. *Science*, 342(6160), 850–853.
<https://doi.org/10.1126/science.1244693>
- Pineda Jaimes, N. B., Bosque Sendra, J., Gómez Delgado, M., & Plata Rocha, W. (2009). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes: Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, (69), 33–52.
- Rainforest Alliance. (2023). *Estándar de agricultura sostenible 2020: Requisitos para fincas* (Versión 1.3). <https://www.rainforest-alliance.org/wp-content/uploads/2023/02/SA-S-SD-1-V1.3ES-Rainforest-Alliance-2020-Estandar-Agricultura-Sostenible-Requisitos-para-Fincas.pdf>
- Rotem, G., Ziv, Y., & Bouskila, A. (2013). Wheat fields as an ecological trap for reptiles in a semiarid agroecosystem. *Biological Conservation*, 167, 349–353.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.08.016>
- Varga Linde, D., & Vila Subirós, J. (2006). Ecología del paisaje y sistemas de información geográfica ante el cambio socioambiental en las áreas de montaña mediterránea: Una aproximación metodológica al caso de los valles d’Hortmoier y Sant Aniol (Alta Garrotxa. Girona). *Áreas. Revista Internacional de Ciencias Sociales*, (25), 59–72.
<https://revistas.um.es/areas/article/view/128011>