



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Cambios en la cobertura vegetal posterior a la implementación de los métodos de erradicación manual de cultivos de coca en el municipio de Briceño (Antioquia) en el periodo 2003-2020

Autores

**Harold Duvian Henao Arroyave
Juan Camilo Carvajal Gómez
Valeria Marcela Calvache Ramos**

**Universidad de Antioquia
Facultad Nacional de Salud Pública
Medellín, Colombia
2021**

Cambios en la cobertura vegetal posterior a la implementación de los métodos de erradicación manual de cultivos de coca en el municipio de Briceño (Antioquia) en el periodo 2003-2020

**Harold Duvian Henao Arroyave
Juan Camilo Carvajal Gómez
Valeria Marcela Calvache Ramos**

**Trabajo de grado para optar al título de
Administradores en Salud con énfasis en Gestión Sanitaria y Ambiental**

Asesor:

Sebastián Mejía Ríos

**Universidad de Antioquia
Facultad Nacional de Salud Pública
“Héctor Abad Gómez”
Medellín, Colombia**

2021

Agradecimientos

A Dios por permitirnos alcanzar este propósito en nuestras vidas, a nuestros padres por ser nuestra guía en el sendero de la vida, a Sebastián Mejía por su acompañamiento y paciencia en este proceso y a nuestra Alma Máter por los conocimientos aportados al crecimiento personal y profesional.

"La educación es el arma más poderosa que puedes usar para cambiar el mundo" Nelson Mandela.

Tabla de contenido

Resumen	
1. Planteamiento del problema	1
1.1. Pregunta de investigación.....	4
1.2. Antecedentes.....	4
2. Objetivos.....	5
2.1. Objetivo general.....	5
2.2. Objetivos específicos.....	5
3. Justificación	6
4. Marco teórico	8
4.1. Determinantes sociales de la salud	8
4.2. Determinantes ambientales	9
4.3. Determinantes sociales.....	9
4.4. Determinantes económicos	9
4.5. Cultivos	9
4.6. Cultivos lícitos.....	10
4.7. Cultivos ilícitos	11
4.7.1. Producción de hoja de coca	13
4.7.2. Características climáticas y altitud óptimas para el crecimiento de los cultivos de coca	15
4.7.3. Erradicación de cultivos	15
4.8. Impactos desde el enfoque de erradicación	16
4.8.1. Impacto ambiental.....	16

4.8.2.	Salud Humana	17
4.8.3.	Socioeconómicos	17
4.9.	Sensoramiento remoto.....	18
4.9.1.	Misiones Landsat	18
4.9.2.	Misiones utilizadas	19
4.10.	Sensores remotos y salud pública.....	21
4.11.	Teledetección terrestre	21
4.11.1.	Ventajas de la teledetección.....	22
4.11.2.	Preprocesamientos de la teledetección terrestre	22
4.12.	SIG -Sistemas de Información Geográfica-	23
4.12.1.	SIG y Sensoramiento remoto.....	24
4.12.2.	Los SIG y la salud pública.....	24
4.12.3.	Formatos de almacenamiento.....	25
4.13.	Análisis espacial	27
4.13.1.	Composición de bandas.....	27
	RGB color natural	28
	Índices espectrales	29
4.13.2.	Métodos de clasificación	30
5.	Marco Legal	32
6.	Marco político	36
7.	Marco geográfico	37
8.	Metodología	38

8.1.	Tipo de estudio	38
8.2.	Población de estudio	38
8.3.	Unidad de análisis	38
8.4.	Muestra.....	38
8.4.1.	Criterios de selección de la muestra	38
8.5.	Muestreo	39
8.6.	Proceso de recolección	39
8.7.	Fuentes de información.....	39
8.8.	Operación de variables	39
8.9.	Plan de análisis	41
	Mapa de procesos	44
9.	Consideraciones éticas.....	45
10.	Resultados	47
10.1.	Resultados objetivo 1	50
10.2.	Resultados objetivo 2.....	58
10.3.	Resultados objetivo 3.....	60
11.	Discusión.....	66
12.	Recomendaciones.	68
13.	Bibliografía	69

Lista de tablas

<i>Tabla 1 Cantidad de hectáreas (ha) de cultivos de uso ilícito en el municipio de Briceño, Antioquia.....</i>	<i>3</i>
Tabla 2. Cantidad de hectáreas (ha) erradicadas de cultivos ilícitos en el municipio de Briceño, Antioquia.....	3
Tabla 3. Línea productiva de Briceño y superficie ocupada.....	11
Tabla 4. Cambios en la cobertura vegetal en áreas- Período 2003-2020.....	65

Lista de figuras

Figura 1. Mapa de veredas intervenidas.....	37
Figura 2. Mapa de procesos	44
Figura 3. Cobertura vegetal clasificada año 2003.....	50
Figura 4. Cobertura vegetal clasificada año 2017.....	52
Figura 5. Cobertura vegetal clasificada 2018.....	54
Figura 6. Cobertura vegetal clasificada - Año 2020	56
Figura 7. Cobertura vegetal clasificada en alturas entre los 1000 y 2000 m.s.n.m.- Año 2020	58
Figura 8. Componente uno del modelo de automatización, extracción de curvas de nivel	60
Figura 9. Representación parte 1, construcción de modelo de automatización	61
Figura 10. Componente dos del modelo de automatización, cobertura vegetal	61
Figura 11. Representación parte 2, construcción modelo de automatización	62
Figura 12. Proceso de automatización culminado	63

Lista de gráficos

Gráfico 1. Porcentaje de áreas de cobertura vegetal en el municipio de Briceño - Año 2003	51
Gráfico 2. Porcentaje de áreas de cobertura vegetal en el municipio de Briceño - Año 2017	53
Gráfico 3. Porcentaje de áreas de cobertura vegetal en el municipio de Briceño - Año 2018	55
Gráfico 4. Porcentaje de áreas de cobertura vegetal en el municipio de Briceño - Año 2020	57
Gráfico 5. Porcentaje de áreas, en alturas entre los 1000 y 2000 m.s.n.m. - Año 2020	59
Gráfico 6. Cambios en la cobertura vegetal en áreas- Período 2003-2020	65

Resumen

A partir de los estudios realizados para la identificación, clasificación y análisis de cobertura vegetal en los territorios, mediante el uso de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica - SIG-, se ha establecido que cuando se introducen procesos productivos de cultivos de uso ilícito, se hacen necesarias ciertas características topográficas para su desarrollo, las cuales a su vez representan una modificación de entornos en los cuales se llevan a cabo estas actividades. Por este motivo, en esta investigación ecológica con líneas de tiempo se hace uso de la metodología Corine Land Cover, acompañada de una interpretación visual, que permite evidenciar cambios en la cobertura terrestre, utilizando como base de comparación los años 2003, 2017, 2018 y 2020, tomando como zona de estudio el municipio de Briceño, Antioquia, por su participación en los procesos de sustitución voluntaria de cultivos de uso ilícito desde el año 2016.

El municipio de Briceño tiene un área aproximada de 401 km² y ha experimentado una disminución considerable en su cobertura boscosa, pasando de ocupar 249,359 km² en el año 2003 a 245,458 km² en el año 2020. Además, se evidencia un importante incremento en las zonas industriales, con tendencia hacia el proyecto Hidroituango. Asimismo, en este periodo se observa una recuperación de vegetación en algunas zonas en donde esta era escasa o nula. En cuanto a los cultivos permanentes (dentro de los cuales se tiene clasificada la hoja de coca), se dio una clara disminución entre los años 2003 y 2017, con un leve aumento al 2020. Cabe aclarar, que, dadas las limitaciones, no se pudo identificar si dichos cultivos son de uso ilícito o lícito, la investigación se enfocó en determinar principalmente los tipos de cobertura.

Palabras clave: Cobertura vegetal, SIG, cultivos, cultivos de uso ilícito, clasificación visual, método no supervisado.

Introducción

A lo largo de la historia, los gobiernos de los países afectados por la droga han tomado diversas medidas para poner fin a la oferta de sustancias ilícitas, en algunos casos atacando la cadena desde su producción hasta llegar a reforzar las medidas para cerrar las puertas de su distribución, en todas las acciones se nota una tendencia para generar nuevos cultivos a las comunidades, permitiendo la resocialización de los cultivadores y nuevas oportunidades a los entornos para garantizar su sostenibilidad ambiental y productiva.

Los cultivos de uso ilícito en el territorio colombiano se han convertido a lo largo de los años en una problemática que atañe a todo el país, generando un obstáculo para el desarrollo en salud, ambiental, social y económico de las zonas afectadas.

La mayor parte de la cocaína del mundo procede de Colombia, donde en 2016 se incrementó la fabricación a unas 866 t, lo que supuso un aumento de más de un tercio con respecto a 2015(1).

En el 2016 mediante la firma del acuerdo de paz con el grupo ilegal de las FARC, el gobierno colombiano se dispuso a implementar un ambicioso programa para la sustitución voluntaria de cultivos de uso ilícito en zonas afectadas, allí se contemplaron formas de erradicación diferentes a la aspersión de herbicidas. En el programa fue pionero el municipio de Briceño, Antioquia, quien durante mucho tiempo vivió a la sombra de grandes extensiones de cultivos de coca.

Hoy con los programas de sustitución en marcha y en una continua evolución, se presentan los cambios en la cobertura vegetal que se establecieron en el municipio de Briceño, Antioquia mediante un estudio ecológico tomando líneas de tiempo, con el fin de contrastar los resultados de la intervención en el territorio y el cambio en su vegetación, basados en los determinantes ambientales y sociales de la salud.

Para enfrentar el análisis de los cultivos en el municipio de Briceño, se optó por el apoyo de las herramientas dispuestas por los sistemas de información geográfica - SIG- y sensores remotos con ellos se puede establecer una clasificación no supervisada partiendo de una interpretación visual de las imágenes tomadas por las misiones de satélites Landsat 7 ETM y Sentinel 2, cuyo procesamiento y combinación de bandas en las imágenes, permiten generar los datos necesarios para formular una serie de categorías en la vegetación existente en el territorio

1. Planteamiento del problema

La guerra que se viene librando contra los cultivos de uso ilícito por parte de los estados ha enseñado la cara más oscura de la humanidad; en esta se han invertido gran cantidad de recursos en los últimos tiempos, incluso se ha creado a nivel mundial La Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC), la cual ha implementado el Programa Mundial de Monitoreo de Cultivos Ilícitos, con el propósito de dar seguimiento a la expansión y evolución de esta gran problemática para los estados (2)

Los estados en conjunto enfrentan el problema mundial de las drogas ilícitas, desde diversas perspectivas, tanto frenando la producción de cultivos de usos ilícitos, como en la incautación de las drogas ilícitas ya procesadas, por ejemplo, la cocaína confiscada ha aumentado en un 74% en el último decenio, mientras que su fabricación se ha intensificado en un 50% en el mismo período (3).

Para enfrentar esta problemática, en países como Afganistán se ha recurrido a varias medidas, desde la erradicación de cultivos, la sustitución por otros y la represión y criminalización de productores y consumidores, decisión que no ha arrojado buenos resultados (4) sin embargo en este país los cultivos de uso ilícito permiten a las familias rurales, y generalmente empobrecidas, adaptarse a los desafíos sociales y económicos (5)

Tailandia, fue una fuente importante de opio ilícito durante varios decenios; la intervención para impedir que los agricultores produzcan opio ilícito estuvo centrada en un enfoque de desarrollo alternativo (6) según un artículo publicado por el grupo Elementa (7), este país logró cerca del 95% de la erradicación de cultivos en el territorio, por lo que se ha posicionado como el país más exitoso en esta materia.

En América del Sur se ha incrementado el cultivo de hoja de coca en el período de 2013 a 2017, creció de 120.600 hectáreas (ha) a un récord histórico de 245.000 (ha) esto trajo consigo el incremento de la violencia vinculada a la droga especialmente en países como Brasil, Colombia y Venezuela (8) por esto, en países como Bolivia el gobierno legalizó los cultivos de coca y su posterior uso para consumo. El motivo de esta decisión fue la consideración inscrita en la constitución de la coca como patrimonio cultural y ancestral de este territorio lo que sugiere que no solo se debe buscar la erradicación de cultivos, sino que, además, debe incluirse la adopción de producciones alternativas (7).

Según la UNODC, el área afectada por cultivos de coca llegó a 141.125 km², representando un 63 % del territorio afectado por coca en los últimos diez años y 51 % si se considera toda la serie histórica 2001- 2018 (9).

En Colombia, los cultivos de coca se han concentrado en zonas específicas, con el fin de evadir las acciones prohibicionistas propuestas por los gobernantes de la nación a lo largo de los años. El problema radica en la efectividad de las políticas y planes (10). A pesar de que en el país desde hace muchos años se implementaron varias acciones en pro de la erradicación total de los cultivos ilícitos aún se evidencian surgimientos de estas prácticas debido al incumplimiento por parte del Estado en lo propuesto en el Programa Nacional Integral de Sustitución de Cultivos de uso Ilícito, (PNIS) (11)

Para la erradicación de cultivos ilícitos en Colombia se han realizado diferentes actividades, una de ellas es la erradicación forzosa, que ha logrado un éxito parcial pues la producción de dichos cultivos ha experimentado una serie de altibajos a lo largo tiempo expresado en la erradicación en algunas zonas y su posterior resurgimiento (11) Es importante considerar todos los impactos negativos que esto conlleva para el medio ambiente, pues no solo afecta a las plantas, sino que, de manera simultánea al suelo, ecosistemas acuáticos, la fauna silvestre y la salud humana(12)

Como alternativa a la erradicación por aspersión, el gobierno ha diseñado e implementado estrategias para la denominada erradicación manual a través de programas como lo son la sustitución voluntaria de cultivos, y la erradicación manual forzosa. Este método ha desencadenado grandes impactos en el territorio afectando en su mayoría a bosques primarios, pues la migración hacia estas zonas ha implicado actividades como la tala de árboles, la aparición de senderos y el minado de los propios cultivos y zonas aledañas a ellos con las denominadas “camándulas”, los cuales son canecas llenas de explosivos puestas en serie bajo la tierra, con el propósito de servir como trampa para los erradicadores (13).

El uso de estos explosivos genera una serie de impactos en los suelos donde se encuentran, pues al momento de llevarse a cabo la explosión, se presentan una serie de secuelas expresadas en cambios físicos y químicos en la estructura del suelo. Alteraciones que van desde cambios en el PH y acidificación del suelo, la reducción de la materia orgánica, la formación de costras, compactación, erosiones, y la reducción de capa vegetal en la zona de impacto (14)

Hacer parte de los acuerdos La Habana desde el 2016, conlleva al municipio a implementar el acuerdo 074 entre el gobierno nacional y las FARC-EP, por el cual se adoptó una estrategia de sustitución voluntaria de cultivos ilícitos, implementadas en 10 veredas seleccionadas por la presencia histórica de cultivos en sus campos para luego incorporar todas la veredas del municipio, sin embargo

realizar acciones de sustitución por cualquier método, sin tener en cuenta los impactos que esta pueda contraer, ha generado que el programa transite por el desconocimiento a la hora de identificar los impactos por los métodos de erradicación y sus diversas actividades, así como en restaurar zonas que vienen siendo expuestas a grandes cargas químicas por el cultivo de coca.

Los lugares que son receptores de procesos que pugnan por la hegemonía territorial para el mantenimiento de la institucionalidad o modos de vida dentro de la ilegalidad, también son receptores de devastación, daño al suelo y lo que lo rodea, contribuyendo así a procesos de deterioro paulatino de entornos que brindan salud a las comunidades, dentro de estos procesos la erradicación se convierte en un arma que puede ser aliada de la recuperación medio ambiental o fuente destructora de los ecosistemas.

En Briceño, donde la hoja de coca está presente en 30 de sus 35 veredas y el 90 por ciento de la frágil economía local gira en torno a esta mata, se pudo determinar que un campesino obtiene recursos mensuales superiores a los 900 mil pesos, ya sea productor o raspachín, y que solo en las veredas priorizadas existen unas 450 hectáreas con la hoja (15).

A continuación, se muestra la cantidad de hectáreas (ha) de cultivos de uso ilícito en el municipio de Briceño, Antioquia

Tabla 1 Cantidad de hectáreas (ha) de cultivos de uso ilícito en el municipio de Briceño, Antioquia

2003	2017	2018	2019
20,00 ha	414,90 ha	289,04 ha	90,71 ha

Tomado de: ODC. RPT- Cultivos ilícitos_2021-07-06—134739

A continuación, se muestra la cantidad de ha erradicadas en el municipio de Briceño, Antioquia

Tabla 2. Cantidad de hectáreas (ha) erradicadas de cultivos ilícitos en el municipio de Briceño, Antioquia

2016	2017	2018	2019	2020
87,60 ha	75,50 ha	52,94 ha	10,88ha	21,50 ha

Tomado de: ODC. RPT- Erradicación_2021-07-06—135200

Los procesos de transformación o cambio que experimentan las coberturas vegetales y usos del suelo de un determinado territorio o región son considerados como una de las principales causas que coadyuvan al deterioro ambiental, por ello están ubicados en el centro de la investigación ambiental (16). Por lo anterior:

1.1. Pregunta de investigación

¿Cuáles han sido los cambios en la cobertura vegetal, posterior a la implementación del método de erradicación manual de cultivos de coca en el municipio de Briceño, Antioquia durante el periodo 2003-2020

1.2. Antecedentes

El mundo ha librado diversas guerras desde el inicio de su historia, guerras por sobrevivir a los ambientes más hostiles que los rodeaban, pasando también por las guerras territoriales y de supremacía en las cuales la muerte era parte constante del paisaje. A partir de la década de los 60 y más puntual y abiertamente en Estados Unidos declaró la guerra contra las drogas en la presidencia de Richard Nixon (17), cuando el mundo se enmarca en las luchas de la guerra fría y todo esto como una estrategia de prosperidad para los territorios del bloque occidental; de esta forma llegó a Colombia en los 70 el auge de la lucha contra cultivos de coca, la amapola y la marihuana que ya habitaban en el territorio, que tuvieron sus grandes bonanzas en un país profundamente pobre en las denominadas bonanzas de la coca y la bonanza marimbera.

Sumergido en este contexto el país inició una carrera para frenar la cadena de la droga partiendo desde la lucha en contra de los cultivos de coca que inicialmente se centró en las regiones del sur del país en las cuales los grandes corredores hacia el Pacífico y el Atlántico jugaban un papel importante en la ola de violencia que llegaba a los municipios por medio del control territorial (18) afectando indiscriminadamente a varios servicios ecosistémicos tanto desde las hectáreas cultivadas como desde los cráteres productos de los explosivos que generó la guerra de diferente actores en los territorios y con el común denominador de unos que querían asentarse en los territorios para ejercer el control de la producción y el actor estatal tomando medidas para la erradicación inicialmente forzosa y luego adaptando las estrategias a los nuevos avances en la materia de producción.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Analizar los cambios de la cobertura vegetal, posterior a la implementación de los métodos de erradicación manual de cultivos de coca en el municipio de Briceño, Antioquia durante el periodo 2003-2020

2.2. Objetivos específicos

- Describir los cambios en la cobertura vegetal durante la implementación de los acuerdos de paz y los procesos de erradicación de coca, en el municipio de Briceño durante el periodo 2003- 2020.
- Identificar la presencia de posibles cultivos de uso ilícito entre las alturas de 1000 a 2000 m.s.n.m, en el municipio de Briceño, Antioquia durante en el año de 2020
- Modelar un proceso de automatización para la clasificación multiespectral de productos cartográficos de sensores remotos de resolución media, para el estudio de los cambios de cobertura vegetal en el municipio de Briceño.

3. Justificación

Abordar la problemática de los cultivos ilícitos en un territorio como lo es Briceño, el cual ha sido afectado durante largos años por la producción de coca, implica abordar una problemática compleja desde sus inicios, ésta involucra las capas más sensibles de la sociedad como los son los factores asociados a la pobreza de las regiones y la forma en las que las personas de estos territorios buscan el sustento. El poco alcance de los programas estatales para las familias campesinas de la región norte de Antioquia y la mala distribución de la tierra repercute en los diversos usos que se le da al suelo, lo que ocasiona violencia entre cultivadores, grupos ilegales y desacuerdos con el Estado.

Se sabe que la salud de las poblaciones se debe observar desde una perspectiva alejada del antropocentrismo y mediada por factores externos que influyen en el estado total o cercano al bienestar de las personas, es así como la conservación del ambiente para el uso de las comunidades de forma legal y continua, genera un acercamiento al proceso de salud integral que dispensa una comunidad para su oportuno desarrollo; en el territorio de Briceño desde el año 2016 se vienen ejecutando procesos de erradicación para el uso legal de la tierra y para el exterminio de las dinámicas que los cultivos ilícitos generan en la sociedad, así pues, el centrar la vista en la restauración de los factores sociales y económicos ha dejado de lado los cambios que se generan en la cobertura vegetal luego de un proceso de erradicación que involucra el 97,22% de la totalidad de las veredas. (19)

Es aquí en donde esta investigación parte de la necesidad de explorar la coyuntura que trae los cultivos ilícitos, pero centrándose en los cambios que se generan a raíz de un proceso de erradicación manual y los diversos matices que este conlleva, adicionalmente abarcar la deficiencia en la literatura con respecto a la exploración en materia de los cambios posteriores a estos procesos.

Desde el análisis de resultados sobre los cambios de la cobertura vegetal, relacionados con los procesos de erradicación, permitirá a los agentes decisores tener en cuenta las dinámicas que encierran el correcto abordaje de la erradicación manual consentida entre comunidad y Estado, a su vez, generar evidencia que permita desarrollar formas de restablecimiento del paisaje para el municipio.

Por esta razón, hoy cuando el Estado y el proceso de paz enfrenta duros cuestionamientos que van desde el proceder institucional hasta la actuación de la comunidad, se hace necesario generar un resultado que pueda poner de manera

objetiva la lupa sobre los cambios ambientales que se viven y que finalmente se conviertan en sustento académico para el momento histórico de la sociedad colombiana; por eso nuestra pregunta quiere contribuir de forma objetiva al fortalecimiento de los procesos de erradicación, desde una perspectiva salubrista al servicio del cuidado ambiental.

4. Marco teórico

4.1. Determinantes sociales de la salud

Desde los inicios de la humanidad se han buscado las explicaciones para determinar las causas que afectan la salud de las personas entre otros aspectos, desde ritos y plantas para conservar su salud hasta ceremonias más complejas para atacar las causas de la muerte como ocurría durante los tiempos de la peste negra (20), encontrando teorías que rondan desde el antropocentrismo hasta la concepción microbiana de la enfermedad, en el medio de estas se van desarrollando no solo conceptos únicos de la medicina sino que también se desenvuelven aspectos propios de las ingenierías en especial de la sanitaria tal como sucede con las ciencias sanitarias en las épocas del cólera (20).

Es claro que la humanidad ha pasado por múltiples escenarios para llegar a establecer como varios aspectos influyen en el desarrollo de la salud de las personas, es aquí que se hace una conceptualización de estos aspectos luego de reconocer los avances del pasado, en 1974 Marc Lalonde ex ministro canadiense define 4 categorías amplias para generar unos determinantes de la salud (21) los cuales son: los estilos de vida, medio ambiente, la biología humana y los sistemas de salud, siendo estos los que para su época iniciaron los modelos bases para generar categorías más amplias y esquemas más complejos.

Según la OMS -Organización Mundial de la Salud- los determinantes sociales de la salud son "las circunstancias en que las personas nacen, crecen, trabajan, viven y envejecen, incluido el conjunto más amplio de fuerzas y sistemas que influyen sobre las condiciones de la vida cotidiana. Esas circunstancias son el resultado de la distribución del dinero, el poder y los recursos a nivel mundial, nacional y local, que depende a su vez de las políticas adoptadas" (22) son estas condiciones las que rodean aspectos significativos de la cotidianidad de la vida de las personas que se encuentran en el mundo de los cultivos de uso ilícito, quienes se encuentran en entornos donde se exponen a tener contacto con herbicidas y químicos complejos para el desarrollo rápido de la planta como el caso de la mata de coca, se ven afectados por el contacto con grupos armados al margen de la ley y con la pérdida de su sustento en cuanto son erradicados sus terrenos.

El abordaje de la problemática que traen los cultivos de uso ilícito desde la mirada de los determinantes de la salud se centra detalladamente dentro de tres factores base que son lo ambiental, social y económico cuya relevancia a la hora de analizar la salud de la población expuesta a estas circunstancias, detallan claramente las afectaciones que genera el entorno de una cobertura vegetal en la cual se encuentren cultivos como la planta de coca.

4.2. Determinantes ambientales

Aquí se ven involucrados aspectos físicos, químicos y biológicos que afectan la salud humana (23) y en específico para el caso del cultivo de las variedades ilícitas del género *Erythroxylum* se hace necesario de una gran cantidad de agroquímicos para su plantación y pronto crecimiento, todo esto con miras a sacar el mayor provecho en un tiempo corto, también, para la producción de la pasta de coca se requiere exponer a todas las personas que intervienen a químicos (24) los cuales por su carácter de ilegal se ven desprotegidos a un sistema de protección ante estas sustancias.

4.3. Determinantes sociales

La salud vista de forma global muestra como aspectos sociales dentro de las estructuras jurídico-legales y formas de poder (25) intervienen para modificar el estado de bienestar de la población, de esta forma en los lugares donde se genera cultivos de uso ilícito existen relaciones de poder las cuales son de origen coercitivo como en el caso de los grupos armados legales e ilegales que influyen sobre el buen vivir de las personas ligadas a las áreas cultivadas.

4.4. Determinantes económicos

“Diversas investigaciones han concluido en que mayores ingresos económicos se asocian a mejores indicadores de la salud de la población” (26) esta consideración evidencia como dentro de esta gama de factores que afectan la salud se relacionan con el acceso a mejores condiciones de vida y por consiguiente a mejores servicios de salud, este tipo de determinantes para la población hacen que sea muy fácil el alterar su salud física y mental al perder el acceso a la tierra y a su medio de producción como lo hacen en algunas ocasiones los grupos al margen de la ley (27)

4.5. Cultivos

Los procesos por los cuales los seres humanos extraen productos de la naturaleza, logrando satisfacer varias de sus necesidades básicas data desde aproximadamente 15000 años atrás, tiempos en los cuales se pueden establecer los primeros procesos agrícolas (28), en años posteriores se genera mediante la observación, modos más óptimos de generar desde los nutrientes de la tierra y con las condiciones óptimas de tiempo una adecuada manera de extraer los

frutos, de esta manera y teniendo en cuenta que las sociedades se establecen de forma permanente en los territorios se generan cultivos agrícolas en los cuales se conjugan los cuidados del terreno con una producción constante (28)

Con el inicio del cultivo, el ser humano creó nuevos agroecosistemas en donde tanto las plantas como sus enemigos naturales (malezas y parásitos) se han adaptado en diversas condiciones (29). A lo largo de los años se descubrió la indispensabilidad del uso de agua para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, puesto que la agricultura representa la mayor proporción del uso de la tierra por el hombre(30), casi dos partes del líquido vital son destinados para esta actividad, es por ello que se afirma que los seres humanos han utilizado una proporción cada vez mayor de la superficie y de los recursos del planeta para cubrir sus propias necesidades, desplazando con frecuencia a otras especies en el proceso y obviando la importancia de la manutención de la vida terrestre. (31)

4.6. Cultivos lícitos

Con el desarrollo paulatino de los procesos agrícolas se establecen cultivos cada vez más tecnificados, avalados legalmente por los estados, quienes necesitan de estos para proveer la demanda tanto interna como externa con productos que cumplan márgenes de supervisión sanitaria para su distribución. En una reciente investigación se estableció que los tres cultivos que se deberían priorizar en Colombia son cacao, palma africana y mango, desplazando otros con potencial, como el aguacate (32). Según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), los departamentos con mayor porcentaje de su extensión con suelos productivos agrícolas son Atlántico 51,05 %, Sucre 45,5 %, Magdalena 43,03 %, Quindío 28,3 %, Cundinamarca 23,7%, Bolívar 20,7 % y Antioquia con 20,3% (33).

De acuerdo al Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Antioquia es el primer productor de café y banano de exportación; otros productos agrícolas son la caña para panela, hortalizas, legumbres, frutas, cacao, yuca, papa, arroz maíz, fique y palma africana. En las tierras frías de la cordillera central y occidental predominan los cultivos de papa, trigo y cebada, en las regiones cálidas, como en los casos de los valles de Magdalena y Cauca y la región de Urabá son importantes los cultivos de arroz, maíz, plátano, yuca y en las tierras templadas se cultiva café, caña, y cacao (34).

El municipio de Briceño se cuenta con 401 km² de los cuales el 6.7% equivalen a áreas urbanas y un 93% de áreas rurales, en las cuales se priorizan cultivos por como lo son el café, cacao, caña de azúcar, aguacate y árboles frutales como mora, maracuyá y gulupa (35)

En la siguiente tabla se muestra la línea productiva de Briceño y sus respectivos valores asociados a cantidades cultivadas y totalidad en superficie:

Tabla 3. Línea productiva de Briceño y superficie ocupada

Línea productiva	Hectáreas	Producción total municipal (Kg)
Pasturas (praderas)	17.229	12.060
Café	687	343.500
Cacao	47	37.600
Cacao (establecimiento)	100	0
Frutales	0	0
Aguacate (establecimiento)	54	0
Caña	112	3.360.000
Frijol	38,5	18.750
Maíz tradicional	53	42.983
Arroz seco	23	68.425
Maracuyá	8	133.200
Limón	5	0
Plátano	52	520.000
Yuca	22	68.112

Tomado de: Alcaldía Municipal de Briceño. Plan de Desarrollo Municipal Briceño 2020-2023.

4.7. Cultivos ilícitos

Los cultivos de uso ilícito, particularmente la marihuana, la coca y la amapola se han convertido en los últimos 35 años en uno de los elementos más perturbadores del desarrollo del país, impactando de manera negativa el conjunto de la sociedad colombiana y de manera especial el desarrollo urbano y rural de nuestro país (36).

La llegada y auge de los cultivos ilícitos establece dos momentos en los territorios: el primero, de emergencia, es aquel en el que las condiciones de latencia que ocasionaron una vulnerabilidad de las familias productoras se convierten en el insumo base para que los grupos al margen de la ley vean el potencial que requieren para poner en marcha la actividad ilícita. Luego, en un segundo momento, se vive una escalada de la actividad, ya que las familias aprenden las técnicas de siembra y producción de los cultivos (coca, marihuana o amapola), expanden el número de plantaciones y empiezan a obtener un alto ingreso económico en comparación con el que recibían con la producción lícita (37) entre

ellas una variedad del género *Erythroxylum* cultivadas para producción de cocaína, como se expone a continuación:

Cuadro 1. Especies cultivadas para producción de cocaína

Especies del género <i>Erythroxylum</i> cultivadas para producción de cocaína	
<i>Erythroxylum coca</i> var. <i>coca</i>	Conocida como coca huanuco en todos los Andes o coca boliviana, es la especie más empleada comercialmente y continúa siendo cultivada en la región andina para producción de cocaína, así como para uso tradicional. Las hojas de ésta son empleadas como estimulante leve por comunidades indígenas, principalmente en Bolivia y Perú, y a diferencia de las otras tres variedades se conocen poblaciones silvestres de esta variedad (Plowman 1982a)
La coca amazónica o ipadú, o <i>Erythroxylum coca</i> var. <i>ipadu</i>	Es una variedad confinada a los bosques húmedos de tierras bajas de la cuenca amazónica. Corresponde a la variedad que es cultivada por los indígenas de la Amazonía de Brasil, Perú y Bolivia, quienes preparan las hojas en un elaborado proceso para la obtención de mambe, a fin de optimizar la extracción del alcaloide. SIMCI (2015), confirmó a través de su monitoreo que esta variedad también se está usando en la producción ilegal de cocaína.
La coca colombiana, o <i>E. novogranatense</i> var. <i>novogranatense</i>	Crece en Colombia y ocasionalmente se ha registrado en Venezuela y Centroamérica (Plowman 1979b), sin embargo, no ha sido encontrada en poblaciones naturales (Plowman 1980). Es empleada también como estimulante por culturas indígenas de la Sierra Nevada de Santa Marta, Santander, Cauca y Huila y se siembra comúnmente como ornamental en varias ciudades de Colombia (Plowman 1984 ^a , SIMCI 2014). En comparación con <i>E. coca</i> , habita zonas más secas y cálidas, y es menos usada para la producción comercial de cocaína. Esta variedad es fácilmente propagada por semillas, razón por la cual fue introducida desde finales del siglo XIX en el mercado horticultural europeo y propagada en jardines botánicos como los Reales de Kew en Inglaterra y los de

	Java (Plowman 1984a)
La coca Trujillo, o <i>Erythroxylum novogranatense</i> var. <i>truxillense</i>	Es cultivada en las zonas áridas del occidente de Perú. Es una variedad altamente valorada por quienes mastican la hoja de coca, por su sabor y alto contenido de alcaloide. Sin embargo, no es usada para la producción ilegal de cocaína por la dificultad para la extracción y cristalización del alcaloide puro. No obstante, está documentada como la variedad usada para saborizar la Coca-Cola, una vez extraído el alcaloide. SIMCI (2015) registró por primera vez la presencia de esta cultivariedad en el país, sin embargo, encontró poca evidencia.
Reseña de las especies cultivadas de coca presentes en Colombia	

Tomado de: DDHH Elementa. Cultivos de coca en Colombia: impactos socio-ambientales y política de erradicación. [Internet]. [Consultado 30 ene 2021]

4.7.1. Producción de hoja de coca

El libro Reviews of environmental contamination and toxicology (4) define una serie de procesos para la producción

“La producción real de coca y amapola, así como el procesamiento y la producción de cocaína y heroína implican impactos ambientales significativos. Tanto la coca como la amapola se cultivan intensamente en un proceso que implica la limpieza de la tierra, la siembra del cultivo y su protección contra plagas, incluyendo malezas, insectos y patógenos. Dependiendo de la región, la limpieza de la tierra para fines de producción puede tener efecto grande y solo lentamente reversible sobre el medio ambiente. En cuanto a otras formas de producción agrícola, la tala de bosques con fines de producción de coca y amapola reduce la biodiversidad, contribuye a la liberación de gases de efecto invernadero, aumenta la pérdida de nutrientes del suelo y promueve la erosión de los suelos. Debido a que la producción es ilegal, generalmente tiene lugar en lugares remotos. Como resultado, la limpieza de tierras se realiza sin gobierno aprobación y con poca consideración aparente por el valor biológico y estético del ecosistema”

La producción de clorhidrato de cocaína se inicia con la siembra de hoja de coca, continúa con el proceso de extracción para obtener pasta básica/base de cocaína y luego concluye en el proceso de transformación para la obtención del producto final.

En Colombia, la estimación del potencial de producción de cocaína se realiza teniendo en cuenta los siguientes aspectos: el primer paso comprende el área sembrada y la productividad de los lotes de coca (cantidad de hojas por hectárea por año); el segundo paso se continúa con los productos intermedios como la pasta básica y la base de cocaína producidos y comercializados en un porcentaje por parte de los productores primarios, y como tercer paso, la conversión de base a clorhidrato de cocaína, estimación realizada a través de los resultados del Gobierno de los Estados Unidos de América.

Para la siembra de los cultivos de coca se escogen los terrenos en donde se desea cultivar, estas áreas deben ser adecuadas para la siembra, la construcción de las instalaciones para el procesamiento de la hoja y la extracción de la droga, adecuación de “bodegas” para almacenar las sustancias químicas y, en algunos casos de construcción de pistas para el tráfico (38).

Para la elección del terreno en el cual se pretenden realizar las plantaciones de coca, se tienen en cuenta unos parámetros fundamentales, que en términos ambientales son principalmente:

- Terrenos con abundantes cuerpos de agua, con el fin de arrojar los desechos utilizados en las zonas cocaleras para eliminar evidencia.
- Zonas con alta presencia de vegetación, para favorecer la poca visibilización de los terrenos utilizados para los cultivos de coca.
- Ecosistemas que se adapten a las condiciones climáticas requeridas para el adecuado crecimiento de las plantaciones de coca y las alturas requeridas.

Se procede a la preparación de los terrenos con los cuales se busca dejar el suelo listo para la recepción de la semilla, eliminando las malezas ya sea de forma manual o con una gran cantidad de herbicidas como se hace con algunos cultivos de papa (39), estos procesos se llevan a cabo principalmente por la utilización de bosques primarios, aquellos que no han tenido influencia antrópica, en la siembra de la planta de coca (40). Los métodos más utilizados para este procedimiento son principalmente la tala de árboles y posterior quema de miles de hectáreas de vegetación con herbicidas y quema de los desechos resultantes con fuego. Esta actividad ha ocasionado impactos negativos irreversibles en la cobertura vegetal nativa “a corto plazo hay pérdida de biomasa, emisiones atmosféricas, cambios en la radiación solar recibida por el suelo, cambios en la evapotranspiración potencial local, albedo, pérdida de nutrientes producto de la erosión hídrica como consecuencia de la escorrentía superficial” (38)

En consecuencia, de los procesos anteriores se continúa con la etapa de introducción de sustancias químicas, en la cual se utilizan grandes cantidades de estos para la fabricación de la base de coca (cemento, permanganato de potasio,

hidróxido de amonio, gasolina o petróleo, ácidos sulfúrico y clorhídrico, acetona, metil etil cetona y acetato de etilo) (38)

Posteriormente, se establece la etapa del procesamiento de la droga, en la cual, para extraer los alcaloides es necesario contar con infraestructura que permita la adecuación de laboratorios y grandes cantidades de sustancias químicas (38). Esta locación se encuentra aledaña al sitio de los cultivos y a los cuerpos de agua, debido a los aspectos mencionados anteriormente, además causa una gran contaminación en los suelos.

4.7.2. Características climáticas y altitud óptimas para el crecimiento de los cultivos de coca

“La precipitación anual óptima para los cultivos de coca es de 2.000mm, pero puede soportar un rango de precipitación entre 1.000 y 4.200 mm; de acuerdo con este criterio una parte importante del territorio nacional cuenta con las condiciones de humedad requeridas para el establecimiento de cultivos de coca.” (41)

Por otro lado, la altitud óptima para su producción es de 1.000 a 2.000 msnm, altura en la que el contenido de cocaína es mayor, pero puede ser cultivada desde el nivel del mar hasta los 2.000 msnm. Según Neumann, las plantas de coca paralizan la fotosíntesis con temperaturas inferiores a 12°C, y temperaturas inferiores a 4°C pueden causar daños irreversibles al follaje, aunque no matan la planta. (42)

El municipio de Briceño está ubicado a una altura, temperatura y precipitación anual de 1200m.s.n.m, 12°C y 1800 - 4500 mm anuales respectivamente, lo cual indica que es un territorio apto para el crecimiento óptimo de los cultivos de coca, Por estos factores y por la frecuente actividad ilícita determinada por sus cultivos, se ha elegido como piloto para la implementación del Programa de Sustitución de Cultivos de Uso Ilícito.

4.7.3. Erradicación de cultivos

La erradicación de las especies del género *Erythroxylum* existentes es un proceso en el cual se elimina la planta para evitar su crecimiento y extracción de hojas, en este se utilizan diferentes dos técnicas que conllevan el uso de múltiples materiales, dentro de los más utilizados y mencionados son la erradicación química con el glifosato, tebuthiuron y tricopyr (43) siendo el primero el más utilizado por su efectividad

También se utiliza la erradicación manual donde intervienen diversos tipos de técnicas, dentro de estas se usan los cortes de desenraizados que consiste en halar la planta hasta destruir la unión de esta con la tierra y cortar la cadena de nutrientes que esta le provee, también se puede realizar una erradicación manual con ayuda mecánica la cual consiste en usar elementos como la motosierra y demás instrumentos por combustión que permiten hacer un corte fácil de la planta (44)

4.8. Impactos desde el enfoque de erradicación

4.8.1. Impacto ambiental.

La erradicación de cultivos ilícitos por aspersion en Colombia es realizada con el herbicida conocido como glifosato o por su nombre comercial como Roundup de Monsanto (6). Según su etiqueta, este producto al caer al suelo es inactivado inmediatamente mediante una reacción química que ocurre con las arcillas, sin dejar residuos que puedan afectar las siembras posteriores, ni tampoco penetrar por las raíces de los cultivos ya establecidos (6). Sin embargo, según algunos estudios científicos realizados en países como Estados Unidos y Canadá, este herbicida tiene potencial de causar daños en los cultivos, así caigan unas pequeñas gotas en ellos. Uno de los primeros boletines técnicos de Monsanto (MON-057-1-71) (6) afirma que "las aplicaciones aéreas deben evitarse si existe peligro de que el químico se ponga en contacto con especies deseables"

En cuanto a la cobertura vegetal, el glifosato tiene efectos sobre la mayoría de las especies de las plantas, lo que puede causar un daño muy grave en la vegetación que se encuentra en vía de extinción (6), a esta situación se añaden las denuncias de la comunidad sobre varias pasadas de las avionetas cuando fumigan sobre zonas campesinas, pudiendo volar 4, 6 o hasta 12 veces el mismo campo esparciendo el herbicida (7), incluso este tiene el potencial de inhibir todos aquellos hongos benéficos, que ayudan a absorber a las plantas nutrientes y agua, necesarias para sobrevivir. (Falta referencia)

Por otro lado, estudios que describen los impactos ambientales que ocasiona la erradicación manual en el país son escasos, la mayoría se enfocan en describir las problemáticas asociadas al uso de herbicidas que ocasionan pérdidas y daños en la cobertura vegetal.

4.8.2. Salud Humana

La Agencia de Protección Estadounidense ha clasificado al glifosato como un químico altamente tóxico y extremadamente irritante para la salud de los seres humanos. (45). Existen evidencias reales que indican que los plaguicidas representan un riesgo para la salud pública (46), por ejemplo, en documentos acerca del uso y toxicidad del glifosato se indica que este compuesto químico genera afectaciones respiratorias, irritaciones en los ojos, problemas del hígado, problemas gastrointestinales y fragmentaciones del material genético (12)

En el marco del conflicto armado interno que azota a Colombia desde hace más de medio siglo, es frecuente y actual el uso indiscriminado de minas antipersonal y otros artefactos explosivos por parte de los actores armados no estatales. Los erradicadores de cultivos ilícitos son una de las poblaciones más afectadas por las minas antipersonal (47). El cruce entre los accidentes por este artefacto y las zonas con operaciones de erradicación forzada muestra la vulnerabilidad de los escuadrones dedicados a esta tarea, esto se evidencia en los registros de la Policía Antinarcóticos en el período de 2009-2018, donde 126 miembros de la Fuerza Pública y civiles han muerto en labores de erradicación y 664 han resultado heridos, con graves lesiones. (30)

4.8.3. Socioeconómicos

La ODC -Observatorio de Drogas de Colombia- informan que existe una problemática asociada al narcotráfico y la presencia de drogas, esta es la violencia, pues los grupos armados ejercen una gran presión y control sobre el territorio abusando de su poder, de esta manera se genera una explotación laboral de las personas, que en muchas ocasiones no reciben una remuneración adecuada por sus servicios, todo esto dado a la mala distribución de las riquezas que produce este tipo de actividades ilícitas (38).

Para la sociedad colombiana se generan diversos tipos de problemáticas originadas en los territorios con cultivos ilícitos y grupos armados, los resultados de la suma de estos dos problemas derivan en un mayor porcentaje de desplazamiento del campo a la ciudad y la disolución del grupo familiar, siendo estas cargas adicionales para el Estado (48)

4.9. Sensoramiento remoto

En el mundo existen herramientas que permiten captar información del planeta, que en muchas ocasiones son imperceptibles a los sentidos de los seres humanos, estos sistemas o instrumentos permiten obtener información del mundo a distancia, sin estar en contacto físico con el objeto a analizar (49), estos son denominados “sensores remotos”.

En la cotidianidad se pueden ver varios elementos que hacen parte de los sensores remotos. Aeroplanos, aviones y satélites son las plataformas más comunes para la realización de observaciones, (49) desde allí se obtienen grandes cantidades de información del planeta, que a su vez son de vital utilidad para generar nuevo conocimiento de los diversos fenómenos en el mundo como lo es el clima, estados hidrológicos y aspectos relevantes de la cobertura vegetal de diversas zonas de la tierra.

En Colombia se han realizado estudios que unen los sensores remotos satelitales con fenómenos propios de las coberturas vegetales del país, imágenes de satélites y fotografías aéreas se usan para ver la evolución de zonas verdes en ciudades como Bogotá (50) y para el trabajo con cultivos ilícitos se convierte en la herramienta más idónea, cobrando gran relevancia al tratar de analizar zonas con procesos de desminado y con conflictos latentes.

4.9.1. Misiones Landsat

Landsat es un proyecto de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio estadounidense (NASA), que incluye ocho misiones. Landsat lleva activo más de 40 años y ha recopilado información de casi toda la superficie terrestre mediante la captura de imágenes desde una órbita baja (51).

Desde 1972, los satélites Landsat han adquirido continuamente imágenes basadas en el espacio de la superficie terrestre de la Tierra, proporcionando datos ininterrumpidos para ayudar a los administradores de la tierra y los encargados de formular políticas a tomar decisiones informadas sobre nuestros recursos naturales y el medio ambiente (52)

4.9.2. Misiones utilizadas

- **Landsat 7:** Fue lanzado desde la Base de la Fuerza Aérea Vandenberg en California el 15 de abril de 1999. El satélite Landsat 7 orbita la Tierra en una órbita casi polar sincrónica con el sol, a una altitud de 705 km (438 millas), inclinada a 98,2 grados, y rodea la Tierra cada 99 minutos. El satélite tiene un ciclo de repetición de 16 días con un tiempo de cruce ecuatorial: 10:00 am +/- 15 minutos.
- **Sentinel-2:** “La misión Sentinel-2 se basa en una constelación de dos satélites idénticos situados en la misma órbita polar, con un desfase de 180° entre sí, para optimizar la cobertura. Está diseñada para proporcionar una alta frecuencia de revisita de 5 días en el Ecuador. El satélite Sentinel-2A se lanzó al espacio el 23 de junio de 2015 y el Sentinel-2B el 7 de marzo de 2017”. (53)

A continuación, se muestran las tablas correspondientes a las bandas que conforman cada sensor remoto utilizado:

Cuadro 2. Bandas conformadas por Landsat

Bandas	Landsat 7 ETM+
Banda 1	Blue
Banda 2	Green
Banda 3	Red
Banda 4	NIR
Banda 5	SWIR1
Banda 6	TIR
Banda 7	SWIR2
Banda 8	Panchromatic

Cuadro 3. Bandas conformadas por Sentinel-2

Bandas	Sentinel 2
Banda 1	Coastal/Aerosol
Banda 2	Blue
Banda 3	Green
Banda 4	Red
Banda 5	Red Edge 1
Banda 6	Red Edge 2
Banda 7	Red Edge 3
Banda 8	Near Infrared (NIR) 1
Banda 8A	Near Infrared (NIR) 2
Banda 9	Water vapour
Banda 10	Cirrus
Banda 11	SWIR-1
Banda 12	SWIR-2

4.10. Sensores remotos y salud pública.

La Salud Pública es una de las disciplinas médicas en las cuales se han ido asociando mayor número de actores de diferentes especialidades y profesiones, que con sus visiones y enfoques pueden aportar nuevos elementos de gran relevancia para entender la dinámica real, holística y sistémica de un problema que en términos generales afecte a la población (54).

La comprensión del entorno ayuda a que los seres humanos puedan tener análisis más profundos de fenómenos que atentan contra su salud y más cuando se trata de indagar sobre las coberturas terrestres y el acceso a los medios necesarios para garantizar la subsistencia, en muchas ocasiones, tener una visión general y técnica de lo que pasa con el entorno es muy complejo y más para comunidades que por las desigualdades al acceso de la tecnología en las zonas rurales los limita; esta visión desde los determinantes, permite a los sensores remotos tomar gran importancia para que las personas encuentren un aliado para acceder a toda la información que provee el mundo generando un reconocimiento y apropiación de sus medios naturales.

4.11. Teledetección terrestre

La teledetección es entendida como la técnica para la adquisición, procesamiento y análisis de datos acerca de la superficie terrestre, los cuales son tomados a través de capturas fotográficas realizadas por sensores remotos que orbitan la tierra y que tienen un alto grado de sensibilidad frente a la radiación electromagnética que reflejan las cubiertas terrestres.

La teledetección consta de tres componentes; el primero es la fuente que genera energía hacia la tierra, que en este caso es el sol, encargado de proporcionar dicha energía la cual choca con la superficie terrestre y de esta manera se produce el fenómeno de radiación electromagnética que es captada por sensores remotos a bordo de satélites; el segundo procedimiento es la transmisión de la información desde los sensores hacia la tierra, la cual se envía en forma de matriz numérica hacia los receptores encargados de realizar correcciones a las imágenes para eliminar errores que puedan producirse. Finalmente, las imágenes se ponen a disposición de los usuarios para su procesamiento y análisis, tras los cuales se generan nuevos datos que sirven para el estudio de la tierra (55).

El uso más generalizado de la teledetección suele estar asociado a las descripciones de tipos de cobertura del suelo. Este enfoque tiene un enorme impacto en el desarrollo de las investigaciones ecológicas ya que mejora la caracterización de los distintos elementos que conforman el paisaje y permite describir patrones espaciales de unidades ecosistémicas estructurales (distribución de tipos de vegetación, por ejemplo). La identificación de estos patrones es un paso crucial en la elaboración de hipótesis acerca de los controles de procesos ecológicos, y en el seguimiento de los cambios y usos de cobertura del suelo. Este ámbito de trabajo, representa la aplicación de la teledetección a la ecología desde un enfoque estructural, y en su vertiente más aplicada permite la evaluación de los cambios en la estructura de la vegetación (56).

4.11.1. Ventajas de la teledetección.

Entre las ventajas que ofrece la Teledetección, destaca su alta periodicidad temporal, por lo que se facilita el seguimiento de aquellas variables ambientales sometidas a una intensa dinámica. Además, gracias a la teledetección ambiental se brinda la posibilidad de obtener información de grandes superficies de territorio en poco tiempo, de tal manera que extensas regiones pueden ser muestreadas en su totalidad en pocos días (57).

4.11.2. Preprocesamientos de la teledetección terrestre

Corrección atmosférica:

La variación de las condiciones atmosféricas repercute negativamente en las imágenes satelitales, ya que la atmósfera puede absorber y distorsionar la energía electromagnética reflejada por la superficie terrestre (58).

Estos efectos dependen de las condiciones de la atmósfera en un tiempo y espacio determinado, por lo que su corrección se hace imprescindible en análisis multi-imagen, multitemporales, multi-sensor e incluso análisis mediante índices de vegetación (58).

Corrección radiométrica:

Este es un término muy genérico, que designa aquellas técnicas que modifican los niveles digitales (ND) originales, con objeto de acercarlos a los que habría presentes en la imagen en caso de una recepción ideal. Dentro de este concepto se engloban las distorsiones provocadas por la atmósfera, así como los problemas radiométricos derivados del mal funcionamiento del sensor (Chuvienco E. Fundamentos de Teledetección Espacial. 2ª ed. Madrid: RIALP S.A;1995.

Corrección geométrica

Este proceso corrige los desplazamientos y distorsiones geométricas presentes en una imagen, causados por la inclinación del sensor (posición del sensor en el momento de la toma), la influencia del relieve y los errores sistemáticos asociados con la imagen. Esta parte del proceso es determinante pues tiene implicaciones directas en la precisión de la posición de los resultados a obtener en el procesamiento, y en el caso de estimación de cambios entre coberturas garantiza que los cambios reportados entre dos imágenes de la misma zona y distintas fechas, se deban a cambios en las coberturas de la Tierra detectadas durante el periodo establecido, y no a diferencias en la posición de las imágenes en el periodo de análisis (59)

Corrección de bandeado de la imagen

Se debe a un mal calibrado entre los detectores que forman el sensor; esto es, a que alguno de ellos codifique la radiancia que recibe en niveles digitales -ND- superiores o inferiores al resto (Chuvienco E. Fundamentos de Teledetección Espacial. 2a ed. Madrid: RIALP S.A;1995co). Un problema frecuente que plantea el sensor es la falta de calibración entre detectores. En los sensores de barrido la exploración se realiza en varias líneas simultáneamente. En ocasiones el ajuste entre detectores se deteriora, provocando un efecto de bandeado en la imagen final (60)

4.12. SIG -Sistemas de Información Geográfica-

Pueden definirse como bases informatizadas de datos con algún tipo de componente espacial. Esto significa que la información que almacenan está referenciada geográficamente, ya se trate de mapas, estadísticas o datos climáticos sobre un territorio concreto, por lo que todas estas variables pueden relacionarse mutuamente de formas muy diversas. Los SIG permiten almacenar

esa información espacial de forma eficiente, facilitando su actualización y acceso directo al usuario. En definitiva, amplían enormemente las posibilidades de análisis que brindan los mapas convencionales, además de facilitar su almacenamiento y visualización.

Los SIG pueden aplicarse a sistemas informáticos orientados a la gestión de datos espaciales enfocados en investigaciones de Ciencias de la Tierra y Ambientales. (61)

4.12.1. SIG y Sensoramiento remoto

Los datos provenientes de los sensores remotos, combinados con las herramientas que proveen los SIG permiten integrar toda la información para generar análisis cuantitativo y cualitativo, todo esto permitiendo obtener mayor eficacia a la hora de hacer análisis de terreno con gran extensión, en especial para generar categorías de cobertura vegetal (62) con la combinación de bandas y datos por medio de las herramientas de procesamiento de imágenes, se puede llegar a colores de difícil percepción y con ello puntualizar en necesidades específicas del terreno.

4.12.2. Los SIG y la salud pública

Todo lo que ocurra en el entorno vital tiene efectos en los seres humanos y las modificaciones que la sociedad haga en este tiene repercusiones en muchas ocasiones irreversibles, por ello no deben estudiarse aisladamente si se pretende entenderlos en toda su extensión. Por esta razón, para lograr su comprensión de manera integral es necesario ubicar en el espacio (espacializar) los procesos humanos. Esto se puede lograr combinando información cartográfica y estadística poblacional, al ubicar los hechos sociales en su territorio y al considerar la realidad en un espacio dado como un sistema en cambio permanente e interacción mutua (63).

Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS), el objetivo de la línea de cooperación sobre aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica en Salud Pública (SIG-SP), es contribuir al fortalecimiento de las capacidades de análisis epidemiológico de los profesionales e Instituciones de salud, proveyendo diversos tipos de aplicaciones de SIG. Para lograr el objetivo se ofrece cooperación directa a países a través del desarrollo aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en diversas áreas de la salud pública; la compilación, normalización y validación de datos estadísticos y cartográficos (64).

4.12.3. Formatos de almacenamiento

Los datos espacio-temporales son gestionados por Sistemas de Información Geográfica (SIG) que definen formatos para su almacenamiento, transporte y visualización.

A continuación, se muestran los formatos de almacenamiento más utilizados en los SIG:

Shapefile

ESRI Shapefile es un formato estándar de facto desarrollado por el Environmental Systems Research Institute (ESRI). Almacena geometrías e información de atributos para las características espaciales. Es recomendado para mapas medianos y pequeños. Un Shapefile consiste en tres partes de datos indispensables: un archivo principal (.shp), un archivo de índices (.shx) y una tabla dBASE (.dbf). Los shapefiles soportan una gran variedad de tipos de geometría (por ejemplo, Point, Line, etc.); sin embargo, en un mismo shapefile sólo pueden existir elementos de un mismo tipo.

GeoPackage

GeoPackage es un es un formato de archivo universal construido sobre la base de datos SQLite (base de datos más utilizada en el mundo), para compartir y transferir datos espaciales vectoriales y raster (65). Este estándar describe un conjunto de convenciones para almacenar dentro de una base de datos las características del vector, los conjuntos matriciales de mosaicos de imágenes y mapas ráster en varias escalas, y las extensiones. (66)

Vector

Una imagen vectorial es una imagen digital formada por objetos geométricos dependientes (segmentos, polígonos, arcos, muros, etc.), cada uno de ellos definido por atributos matemáticos de forma, de posición, etc. (66) El formato vectorial es más conveniente para el almacenamiento, puesto que cada unidad se define por sus límites y no por todas las cuadrículas que engloba. Esta estructura es más ventajosa en cuanto a la precisión, por cuanto cada unidad se refiere por sus límites reales. (67)

Ráster

Una imagen en mapa de bits o imagen ráster, es una estructura o archivo de datos que representa una rejilla rectangular de píxeles o puntos de color, denominada matriz, que se puede visualizar en un monitor, papel u otro dispositivo de representación (66).

El formato ráster es conveniente para realizar análisis espaciales de proximidad, rutas óptimas, superposición de mapas, etc., puesto que cada unidad espacial está definida explícitamente (67).

Geodatabase:

Es el almacenamiento físico de la información geográfica, que principalmente utiliza un sistema de administración de bases de datos (DBMS) o un sistema de archivos. Puede acceder y trabajar con esta instancia física del conjunto de datasets a través de ArcGIS o mediante un sistema de administración de bases de datos utilizando SQL (68)

Tipos de geodatabases:

File geodatabase

Una geodatabase de archivos es una colección de archivos en una carpeta en el disco que puede almacenar, consultar y administrar datos espaciales y datos no espaciales, almacena los datasets (conjunto de datos) en una carpeta de archivos del equipo. Cada dataset se corresponde con un archivo, cuyo tamaño puede ser de 1 TB -Terabyte- como máximo, se pueden utilizar en diversas plataformas y se pueden comprimir y cifrar para un uso seguro y de solo lectura (69).

Personal database

“Una geodatabase personal es una base de datos de Microsoft Access que puede almacenar, consultar y administrar tanto datos espaciales como datos no espaciales. Dado que se almacenan en bases de datos de Access, las geodatabases personales tienen un tamaño máximo de 2 GB” (65)

4.13. Análisis espacial

Es una herramienta que permite el estudio y análisis de comportamientos que se llevan a cabo en un lugar determinado, generando así una serie de datos cuantitativos y cualitativos sobre los elementos presentes y la manera en cómo estos se relacionan. Finalmente son transformados en información que sirve de apoyo para la toma de decisiones con respecto a favorecer las condiciones del lugar donde se esté realizando el análisis (70).

Los sistemas de información geográfica se han convertido en una poderosa herramienta de análisis espacial ampliamente utilizados para estudios relacionados con los cambios generados en el medio ambiente dado que permiten generar resultados de manera rápida favoreciendo la formulación de estrategias que impacten de la mejor manera las zonas de influencia (70).

4.13.1. Composición de bandas

Los filtros o combinaciones de bandas de imágenes satelitales son técnicas que nos permiten analizar elementos específicos de la superficie terrestre dependiendo de la radiación electromagnética que emite cada objeto de la superficie terrestre. De acuerdo con la combinación realizada podemos identificar superficies como la vegetación, los usos del suelo, masas de agua, incendios, entre otros. (71) La creación de imágenes parte del paso de bandas a través de tres canales: rojo, verde y azul. (71)

Existe una gran variedad de combinaciones posibles que se pueden realizar para obtener diferentes resultados como lo son RGB para color natural, RGB para zonas urbanas, RGB para vegetación general, RGB para análisis de vegetación, RGB para análisis de vegetación sana, RGB para estudios agrarios, RGB para usos del suelo (71)

Cuadro 4. Ejemplos de combinación de bandas

RGB color natural	Involucra a las tres bandas visibles (RGB). El juego cromático de estas bandas ayudará a elaborar mapas específicos de vegetación (72).
RGB infrarrojos de color	Tiene buena sensibilidad a la vegetación verde, la cual aparece representada con un color rojo (73). Es útil para el estudio de la vegetación, drenaje, el seguimiento de las diferentes etapas del crecimiento de los cultivos y patrones del suelo (72).
RGB uso agrícola	Esta composición de bandas permite realizar análisis para la detección de zonas de uso agrícola. Es útil para monitorizar cultivos agrícolas (73)
RGB Análisis de la vegetación	Esta combinación de bandas ofrece información y contraste de color para la detección de suelo desnudo y vegetación. Es adecuado para estudios de vegetación y se utiliza ampliamente en la vigilancia de cultivos, detección y gestión de plagas y en la gestión de la madera (72).

Índices espectrales

El índice de vegetación es un parámetro calculado a partir de los valores de reflectividad a distintas longitudes de onda y que pretende extraer la información relacionada con la vegetación minimizando la influencia de otros factores externos como las propiedades ópticas del suelo, la radiación solar, etc.

Cuadro 5. Índices clasificación cobertura

Índice	Características más relevantes
Índice de vigor relativo (RVI)	Este índice mejora el contraste entre el suelo y la vegetación, pero minimiza los efectos de las condiciones de iluminación.
Índice de vegetación normalizado (NDVI)	El NDVI es utilizado para dar seguimiento global a la vegetación, ya que ayuda a compensar cambios en las condiciones de iluminación, la pendiente de la superficie sobre la cual se asientan las plantas, exposiciones y otros factores externos.
Índice de vegetación perpendicular (PVI)	Intenta minimizar el efecto del suelo en la estimación de la vegetación. Este índice sólo se debe utilizar en imágenes que se han corregido atmosféricamente, ya que es sensible a los cambios atmosféricos
Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI)	Minimiza el efecto de la reflectividad del suelo.
Índice de vegetación ajustado al suelo modificado (MSAVI)	Minimiza el efecto del suelo desnudo en el SAVI
Índice de vegetación ajustado de suelo transformado (TSAVI)	Es una transformación del SAVI, introduciendo los parámetros de la línea del suelo, dándole así al índice un carácter global.

Índice de supervisión ambiental global (GEMI)	Minimiza la información relativa de los efectos atmosféricos sin alterar la información sobre la vegetación.
---	--

Tomado de: Universidad de Valencia. Teledetección. Sobrino J.A. [Internet]. Valencia (España). Servicio de publicaciones Universidad de Valencia (ISBN 84-370—4220-8)

4.13.2. Métodos de clasificación

La clasificación de imagen hace referencia a la tarea de extraer clases de información de una imagen ráster multibanda. El ráster resultante de la clasificación de imagen se puede utilizar para crear mapas temáticos. (69)

Según Vicens L. Las técnicas de clasificación de imágenes posibilitan la transformación de imágenes crudas (fotografías aéreas, imágenes de satélite, etc.) en datos temáticos o mapas que mostrarán información con un significado evidente. (74) Como sucede a menudo, existen diferentes técnicas para poder llevar a cabo estas clasificaciones. Dependiendo de la interacción entre el analista y el equipo durante la clasificación, existen dos tipos de clasificación: supervisada y no supervisada (69)

Fotointerpretación visual

Inicialmente es de gran utilidad realizar una interpretación visual del terreno y de las imágenes con las combinaciones de bandas, de esta forma obtener unas categorías amplias de la zona que se van depurando por medio del contraste de los píxeles “La idea se basa de elegir las bandas donde se presente mayor contraste espectral entre las coberturas – objeto del estudio” (75) de esta manera se pueden generar una serie de clases que pueden hablar sobre el uso del terreno o tipo de vegetación, interpretando aspectos que pueden salir desde el conocimiento en campo del terreno, la literatura y el uso de las imágenes con las bandas combinadas (76)

Clasificación supervisada

Este método de clasificación requiere de un conocimiento previo de la zona de estudio, la cual se logra mediante trabajos de campo. El estudio supervisado del territorio permite identificar en el mapa las áreas piloto que se consideran representativas de acuerdo al objetivo del proyecto (67).

Método de clasificación no supervisada

Este método se dirige a definir las clases espectrales presentes en la imagen. No implica ningún conocimiento del área de estudio, por lo que la intervención humana se centra más en la interpretación, que en la consecución de los resultados. No se establece ninguna clase a priori, aunque es necesario determinar el número de clases que queremos establecer, y dejar que las defina un procedimiento estadístico (77)

5. Marco Legal

Cuadro 6. Normatividad

Tipo	Número	Fecha	Título	Descripción
Decreto	1206	26/06/1973	Por el cual se crea el Consejo Nacional de Estupefacientes	Al Consejo Nacional de Estupefacientes (CNE), disponer la destrucción de cultivos de marihuana, coca, y demás plantaciones de las cuales se puedan extraer sustancias que produzcan dependencia, utilizando los medios más adecuados, previo concepto favorable de los organismos encargados de velar por la salud de la población y por la preservación y equilibrio del ecosistema del país.
Ley	30	31/01/1986	Por la cual se adopta el Estatuto Nacional de Estupefacientes y se dictan otras disposiciones	En esta ley se realiza la creación del consejo nacional de estupefacientes y se establecen las definiciones claras con respecto a los factores involucrados en la creación y el consumo de drogas ilícitas, en su artículo 77 otorgan a la policía autorización para los procesos de erradicación
Decreto	423	3/03/1987	el cual agrupó en la Dirección de Policía Antinarcóticos, los servicios especializados de control de sustancias que producen adicción física o psíquica y Servicio Aéreo de la Policía Nacional y adscribe la Dirección de Policía Antinarcóticos a la Dirección General de la Policía Nacional.	con este se lo otorgan facultades a la policía nacional para hacer prevención y represión para el control territorial ante los cultivos de uso ilícito y todos los elementos que intervengan en los procesos del narcotráfico

Tipo	Número	Fecha	Título	Descripción
Ley	21	04-03-1991	Por medio de la cual se aprueba el Convenio número 169 sobre pueblos indígenas y tribales en países independientes, adoptado por la 76a. reunión de la Conferencia General de la O.I.T., Ginebra 1989 El convenio 169 de la OIT establece la necesidad de consultar a las comunidades étnicas.	El Convenio 169 de la OIT abarca los lineamientos generales de la gestión de la DCP, por lo cual sus disposiciones influyen en el desarrollo de la actividad misional de todas sus áreas
Ley	599	24-07-2000	Por la cual se expide el Código Penal	En ella se encuentran consideradas las disposiciones implementadas para la judicialización de las personas que porten o planten cultivos de uso ilegal (artículos 375 y 376)
Resolución	13	27-06-2003	Por la cual se revocan las resoluciones 1 del 11 de febrero de 1994 y 5 del 11 de agosto de 2000 y se adopta un nuevo procedimiento para el programa de erradicación de cultivos ilícitos”.	en su artículo Primero señala que el PECIG, a cargo de la Policía Nacional – Dirección Antinarcóticos, operará en todas las regiones del país donde se evidencia presencia de cultivos ilícitos. Las áreas de cultivos ilícitos fraccionados y/o mezclados con cultivos lícitos, que corresponden a formas de cultivo utilizadas para evadir las acciones del PECIG, también serán objeto de dicho programa

Tipo	Número	Fecha	Título	Descripción
Resolución	99	31/01/2003	"Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 1065 del 26 de noviembre de 2001	Modificar la parte motiva de la Resolución 1065 de 2001, mediante la cual se impuso el Plan de Manejo Ambiental, presentado por la DIRECCIÓN NACIONAL DE ESTUPEFACIENTES -DNE-, para la actividad denominada "Programa de Erradicación de Cultivos Ilícitos mediante la Aspersión Aérea con Glifosato" - PECIG - en el territorio nacional, en el sentido de acoger la recomendación emitida por el Instituto Colombiano Agropecuario ICA, para el incremento provisional de la dosis a 10.4 litros/ha de la formulación comercial del glifosato, para la erradicación de los cultivos de coca, en el marco del citado programa, de conformidad con lo establecido en la parte considerativa del presente acto administrativo.
Directiva Presidencial	1	26/03/2010	La directiva reseña los mecanismos para la aplicación de la Ley 21 de 1991, señala las acciones que requieren la garantía del derecho a la Consulta Previa y establece los mecanismos mediante los cuales procede el proceso de Consulta Previa.	Por medio de la cual se ordena la consulta previa para la erradicación de cultivos ilícitos a todas las minorías nacionales

Tipo	Número	Fecha	Título	Descripción
Decreto ley	896	20/05/2017	"Por el cual se crea el Programa Nacional Integral de Sustitución de cultivos de uso ilícito -PNIS-"	Créase el Programa Nacional Integral de Sustitución de Cultivos de Uso Ilícito - Pt\I/S, a cargo de la Dirección para la Sustitución de Cultivos Ilícitos adscrita a la Alta Consejería Presidencial para el Postconflicto del Departamento Administrativo de la Presidencia de la República. La Dirección desarrollará las funciones relacionadas con el Programa en coordinación con las autoridades del orden nacional y territorial, y la participación de las comunidades en los términos establecidos en este Decreto Ley.

6. Marco político

Cuadro 7. Marco político

Título	Fecha	Descripción
Programa de Erradicación de Cultivos Ilícitos mediante aspersión aérea con el herbicida Glifosato - PECIG	11-02-1994	El PECIG es una estrategia del Gobierno Nacional diseñada para controlar y eliminar plantaciones de cultivos de coca de forma rápida y segura, con lo que se busca combatir la producción de hoja de coca, que es el primer escalón en la producción de cocaína. La erradicación por aspersión aérea se adelantará a través de tres fases integradas: detección, aspersión y verificación.
RUTA FUTURO: POLÍTICA INTEGRAL PARA ENFRENTAR EL PROBLEMA DE LAS DROGAS 2018-2022	2018	El documento plantea la política integral para enfrentar el problema de las drogas de la República de Colombia, haciendo énfasis en la situación actual de los cultivos ilícitos, la producción, el tráfico, el consumo y los delitos relacionados, desde una perspectiva integral, territorial y diferencial. Define los principios, enfoques, objetivos y estrategias para intervenir las múltiples causas y efectos del problema de las drogas durante los próximos cuatro años. A la fecha el país no cuenta con una política anti drogas que permita enfrentar esta grave problemática
Comunicado Conjunto #74 entre las delegaciones del Gobierno Nacional y las FARC-EP	10-06-2016	Las delegaciones del Gobierno Nacional y las FARC-EP anunciamos que hemos llegado a un Acuerdo para poner en marcha un esfuerzo conjunto de sustitución voluntaria de cultivos de uso ilícito en el municipio de Briceño (Antioquia)
Declaración Política y Plan de acción 2009 de Naciones Unidas.	11-03-2009	Declaración y Plan de Acción sobre Cooperación Internacional en favor de una Estrategia Integral y Equilibrada para Contrarrestar el Problema Mundial de las Drogas de Naciones Unidas.

7. Marco geográfico

Esta investigación se centra en el territorio colombiano, específicamente en el municipio de Briceño Antioquia, en la subregión Norte, su altura promedio es de 1200 m.s.n.m. teniendo en cuenta principalmente las 35 veredas que se acogieron al proceso de sustitución de cultivos de uso ilícito, llevada a cabo en el acuerdo de La Habana.

A continuación, se muestran las veredas que se comprometieron a la sustitución de cultivos:

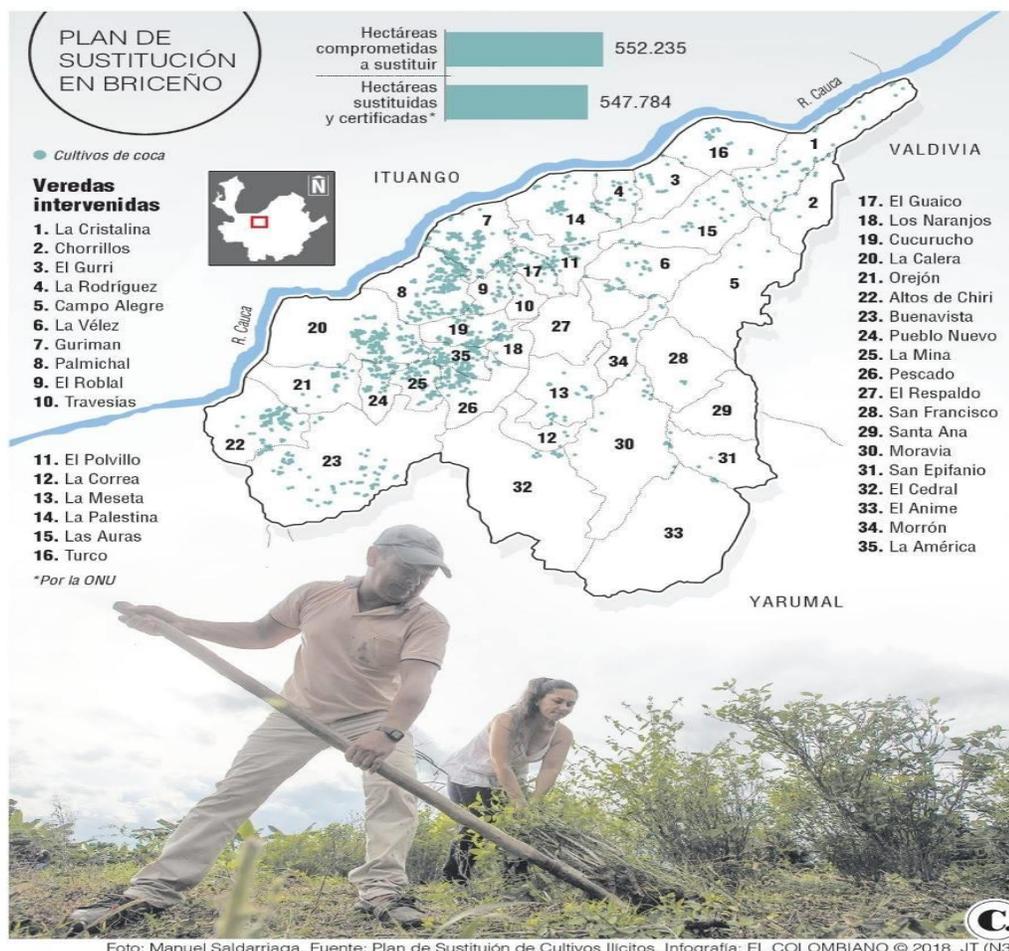


Figura 1. Mapa de veredas intervenidas

Tomado de: Plan de Sustitución de Cultivos Ilícitos. Infografía: EL COLOMBIANO 2018 JT (N3)

8. Metodología

8.1. Tipo de estudio

La presente es una investigación de tipo ecológico con un enfoque en series de tiempo. En el estudio se realizó un análisis en donde se compara el área de las diferentes coberturas vegetales, antes y durante la implementación de métodos de erradicación manual de cultivos ilícitos durante el periodo de 2003 a 2020.

El análisis de este tipo de estudio se realiza mediante la técnica de fotointerpretación visual con el fin de cuantificar las diferentes coberturas vegetales, para identificar los cambios de esta en los años 2003, 2017, 2018 y 2020. Debido a la situación actual de la declaración de emergencia social y sanitaria consecuencia de la pandemia global de la COVID-19 no es posible realizar una recolección de semillas con el objetivo de llevar a cabo un entrenamiento para el análisis de una clasificación supervisada.

8.2. Población de estudio

La población de estudio es la totalidad de la cobertura terrestre del municipio de Briceño

8.3. Unidad de análisis

La unidad de análisis son las áreas de los diferentes tipos de coberturas vegetales en el municipio de Briceño

8.4. Muestra

Imágenes satelitales provenientes de los sensores de Landsat 7 ETM+ y Sentinel-2

8.4.1. Criterios de selección de la muestra

Se seleccionarán aquellos productos de sensoramiento remoto que tengan una cobertura de nubosidad inferior al 30% en el área de estudio.

8.5. Muestreo

El estudio no cuenta con muestreo, al ser un estudio ecológico se usarán fuentes secundarias.

8.6. Proceso de recolección

No se llevará a cabo recolección debido a que se usarán fuentes secundarias.

8.7. Fuentes de información

Se hizo uso de información proveniente de sensores remotos de resolución media que se encuentran en las bases de datos Earth Observing System -EOS- de los Estados Unidos. Este repositorio permite acceder a los productos cartográficos de las misiones de LANDSAT de la NASA y de la Agencia Espacial Europea (ESA) la cual es propietaria de la cartografía de las misiones de Sentinel.

8.8. Operación de variables

En la siguiente tabla se muestran las variables relacionadas a cada objetivo específico y su correspondiente clasificación, asimismo, se reconocen sus tipologías y su respectiva descripción.

Cuadro 8. Operacionalización de variables

Objetivo específico	Variable	Tipo de variable	Categorías	Descripción
Describir los cambios en la cobertura vegetal durante la implementación de los acuerdos de paz y los procesos de erradicación de coca, en el municipio de Briceño durante el periodo 2003- 2020.	Zonas con cultivos de uso ilícito.	Cuantitativa	Cantidad de área expresada en Km ² .	Cantidad de kilómetros con presencia de cultivos de uso ilícito en el municipio de Briceño, Antioquia
	Porcentaje de cambio cobertura de suelo	Cuantitativa	Cantidad de hectáreas	Hectáreas incluidas en los procesos de erradicación de cultivos de uso ilícito, manual voluntario en el municipio de Briceño, Antioquia, que han sido incorporadas en el programa de sustitución de cultivos de uso ilícito.
	Cambios en la vegetación	Cuantitativa	Combinación de bandas	Analizar los cambios en la vegetación, mediante la combinación de bandas de sensores remotos Landsat y Sentinel
Identificar la presencia de posibles cultivos de uso ilícito entre las alturas de 1000 a 2000 m.s.n.m. en el municipio de Briceño, Antioquia durante el año 2020.	Porcentaje de áreas entre 1000 y 2000 m.s.n.m. en el municipio de Briceño.	Cuantitativo	Cantidad de áreas entre los 1000 y 2000 m.s.n.m.	Cuantificar la cantidad de zonas que se encuentran susceptibles a poseer cultivos de uso ilícito por sus condiciones geográficas en el municipio.
	Zonas con posibles cultivos de uso ilícito.	Cuantitativo	Cantidad de zonas	Puntualizar áreas que se encuentren con presencia de posibles cultivos de uso ilícito, en las zonas establecidas.

	Áreas de vegetación sin presencia de cultivos ilícitos	Cuantitativo	Cantidad de zonas	Establecer la cantidad de zonas con cobertura vegetal diferente a cultivos de uso ilícito.
Objetivo específico	Variable	Tipo de variable	Categoría	Descripción
Modelar un proceso de automatización para la clasificación multiespectral de productos cartográficos de sensores remotos de resolución media, para el estudio de los cambios de cobertura vegetal en el municipio de Briceño.	N/A	N/A	N/A	Se realiza un modelo que da como resultado la automatización de algunos procesos para la clasificación de coberturas terrestres.

8.9. Plan de análisis

8.9.1 Procesamiento de datos

Se lleva a cabo la descarga de las imágenes del área de interés, a través de la base de datos¹, para ello se hará un procedimiento de selección de imágenes añadiendo filtros de temporalidad (años 2003, 2017, 2018 y 2020) y nivel de nubosidad inferior al 30% en el área de estudio.

Una vez seleccionados y descargados los datos, serán exportados a una GeoPackage, el cual es un formato que permite el almacenamiento de la información y de esta manera poder ser procesados mediante un SIG. Posteriormente, serán seleccionadas las bandas correspondientes de cada imagen para su debido procesamiento. Esto se realizará mediante la combinación de bandas correspondiente y por medio de la herramienta Ráster Calculador del software QGIS.

¹ Earth Explorer: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Objetivo 1: Describir los cambios en la cobertura vegetal durante la implementación de los acuerdos de paz y los procesos de erradicación de coca, en el municipio de Briceño durante el periodo 2003- 2020.

Control de sesgos de información:

Correcciones atmosféricas de imágenes Landsat 7 ETM + y Sentinel 2.

Variables

→ **Zonas con cultivos**

Con el fin de determinar la cantidad de hectáreas con posibles cultivos de uso ilícito, se dibujan polígonos para cada uno de los tipos coberturas vegetales ubicadas entre los 1000 y 2000 m.s.n.m. en el municipio de Briceño, extrayendo el área de cada uno de ellos.

→ **Porcentaje de cambio en la cobertura de suelo:** Extraer información por parte de entidades territoriales

→ **Cambios en la vegetación:**

Para analizar los cambios en la vegetación se realizará una combinación de bandas de color verdadero y falso color, con el fin de llevar a cabo la interpretación visual de la cobertura vegetal.

Las combinaciones utilizadas son las siguientes:

Infrarrojo cercano

- Landsat 7 ETM+ se componen las bandas NIR-RED-GREEN
- Sentinel-2, se componen las bandas NIR 1- RED- GREEN

Con esta combinación se podrán visualizar las variaciones en la vegetación.

Vigorosidad de vegetación

- Landsat 7 ETM+ se componen las bandas NIR-SWIR 1-BLUE
- Sentinel-2, se componen las bandas NIR 2- SWIR 1- BLUE

Con esta combinación se podrá visualizar el estado de la vegetación

Objetivo 2. Identificar la presencia de posibles cultivos de uso ilícito entre los 1000 a 2000 m.s.n.m., en el municipio de Briceño, Antioquia durante en el año 2020.

Variables

→ **Porcentaje de áreas entre 1000 y 2000 m.s.n.m. en el municipio de Briceño**

Para la estimación del porcentaje de áreas de las diferentes coberturas vegetales ubicadas entre 1000 y 2000 m.s.n.m. Para esto se convierten las diferentes curvas que cumplan con este criterio en un polígono que sirve como máscara de recorte.

→ **Zonas con posibles cultivos de uso ilícito**

Luego de identificar las zonas con alturas óptimas para el crecimiento de cultivos de *Erythroxylum coca* (1000 a 2000 m.s.n.m.) Se estableció mediante vector tipo polígonos los espacios en donde existe la posible presencia de cultivos de uso ilícito, para ello se utilizó cartografía tipo ráster procesada y corregida del periodo 2020 en el municipio de Briceño y finalmente se generaron puntos georreferenciados.

→ **Área de vegetación sin presencia de cultivos ilícitos**

Para determinar el área de la vegetación sin presencia de cultivos ilícitos se halla la diferencia entre el área total y el área de las zonas con posibles cultivos de uso ilícito.

Mapa de procesos

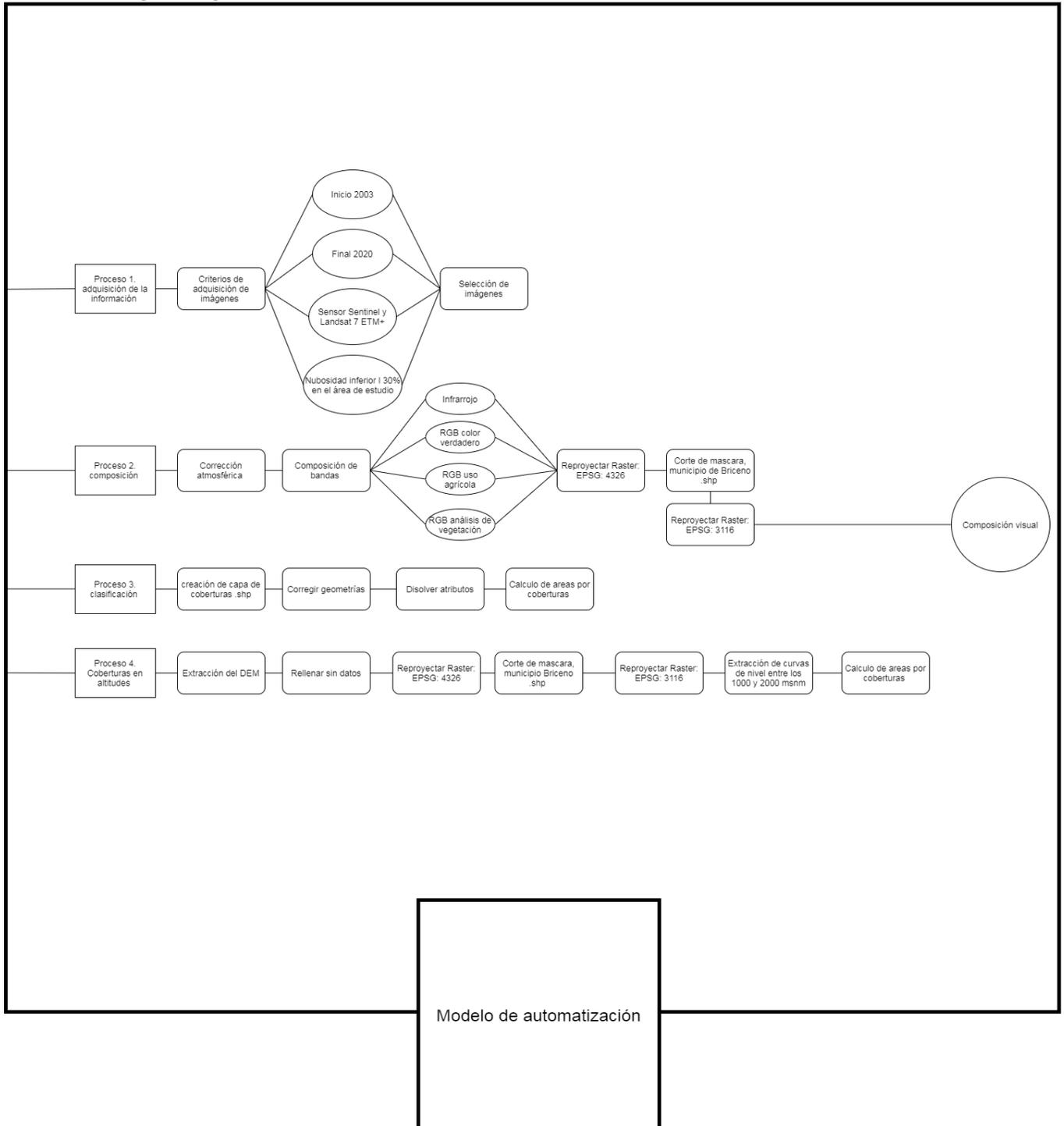


Figura 2. Mapa de procesos

9. Consideraciones éticas

Esta investigación se realizará de acuerdo con la resolución No. 8430 de 1993 del Ministerio de Salud, por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. El presente proyecto pretende estudiar los cambios en la cobertura vegetal en el municipio de Briceño, Antioquia, los cuales serán evaluados a través de los sistemas de información geográficos (SIG), la información se obtendrá de bases de datos públicas, por lo que se clasifica como un estudio sin riesgo.

Según lo descrito en esta resolución específicamente en el artículo 11, nuestra investigación se clasificó como investigación sin riesgo, debido a que según esta misma normativa: “Son estudios que emplean técnicas y métodos de investigación documental retrospectivos y aquellos en los que no se realiza ninguna intervención o modificación intencionada de las variables biológicas, fisiológicas, psicológicas o sociales de los individuos que participan en el estudio.”

Además, el proyecto protegerá todos los datos personales que hayan sido gestionados para la realización de la investigación, esto basándonos en la Ley Estatutaria 1581 del 17 octubre de 2012 del Congreso de la República de Colombia, por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales y el decreto 1377 del 27 junio de 2013 de la Presidencia de la República de Colombia, por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 1581 de 2012.

De acuerdo con esto el proyecto se enmarca en los siguientes principios éticos:

- **Principio de gratuidad:** Los resultados se pondrán a disposición de las personas habitantes del Municipio de Briceño de manera gratuita.
- **Principio de la calidad de la información:** La información resultante del proyecto será oportuna, completa, reutilizable y veraz.
- **Principio de justicia:** En la investigación no se tendrán preferencias en cuanto a la entrega de información que se genere en nuestro estudio. Tiene como objetivo principal, beneficiar a todas las partes interesadas, sin distinción alguna.

Además, para acceder a los datos de libre acceso (datos de teledetección), se tendrá en cuenta la ley 1712 de 2014, por medio de la cual se crea la Ley de

Transparencia y del Derecho de Acceso a la Información Pública Nacional y se dictan otras disposiciones.

Aunque no se trabajará con población, los resultados de nuestra investigación buscarán beneficiar a las instituciones y personas interesadas en conocer la situación actual de la cobertura vegetal del municipio de Briceño posterior al proceso de erradicación manual implementado en la zona.

Para la revisión y recolección de información, se utilizaron fuentes bibliográficas, con el fin de definir los antecedentes respectivos a nuestro tema de estudio, así mismo para dar un correcto uso de la información y respetar los derechos del autor, nos basamos en la ley 23 del 28 enero de 1982, en la cual se tienen en cuenta las disposiciones relativas a este tema.

10. Resultados

Para la obtención de los resultados se utilizaron imágenes de los satélites Landsat 7 ETM + y Sentinel 2 con una nubosidad inferior al 30% en el área de estudio (Municipio de Briceño) Inicialmente, se realizó corrección atmosférica de bandas para posteriormente ejecutar las siguientes combinaciones.

Cuadro 9. Información de imágenes interpretadas, según misión y fecha.

AREA DE ESTUDIO	SATELITE	FECHA			CRITERIO DE SELECCIÓN	IMAGEN SELECCIONADA
		DESDE	HASTA	AÑO		
Municipio Briceño (Antioquia)	Landsat 7 ETM+	1/01/2003	31/12/2003	2003	Cobertura de nubosidad inferior al 30% en el área de estudio	LE07_L1TP_009055_20030203_20170126_01_T1
	Sentinel-2 L2C	1/01/2017	31/12/2017	2017	Cobertura de nubosidad inferior al 30% en el área de estudio	2017-12-18_[-75.743866,6.96596,-75.38887,7.278698]_B04-B03-B02-B01-B05-B06-B07-B08-B8A-B09-B10-B11-B12
	Sentinel-2 L2C	1/01/2018	31/12/2018	2018	Cobertura de nubosidad inferior al 30% en el área de estudio	2018-01-07_[-75.71022,6.983681,-75.423889,7.272908]_B04-B03-B02-B01-B12-B11-B10-B09-B8A-B08-B07-B06-B05
	Sentinel-2 L2C	1/01/2020	31/12/2020	2020	Cobertura de nubosidad inferior al 30% en el área de estudio	2020-01-12_[-75.741119,6.982318,-75.383377,7.315476]_B04-B03-B02-B05-B06-B07-B08-B8A-B09-B11-B12-TCI-AOT-WVP-B01

Cuadro 10. Combinacion de bandas utilizadas.

Landsat 7 ETM+	Sentinel- 2	Listado de combinaciones
RGB	RGB	
3,2,1	4,3,2	Color natural
4,3,2	8,4,3	Infrarrojo
5,4,3	11,8A,2	Uso Agrícola
4,5,1	8A,11,2	Análisis de vegetación

Una vez obtenidas las combinaciones, se procedió a reproyectar al sistema convencional EPSG: 4326 empleado para la representación de la cartografía a nivel mundial, para luego hacer el corte de las capas utilizando la máscara del municipio y reproyectar nuevamente al sistema convencional EPSG: 3116: MAGNA-SIRGAS/ Colombia Bogotá.

Se procedió a crear las capas de coberturas, dibujando polígonos y asignando valores de clasificación haciendo uso de una fotointerpretación visual. En la imagen de 2003 correspondiente al satélite Landsat 7 ETM+, la resolución de 30x30 mts no facilitó la interpretación de la cobertura terrestre, contrastado esto con las imágenes del satélite Sentinel 2 con una resolución de 15x15 mts, permite obtener una mejor definición de los mapas procesados, acercándose más a una descripción más acertada del territorio estudiado. Una vez obtenida la clasificación de la cobertura vegetal en su totalidad se aplicó la herramienta corregir geometrías, con el fin de eliminar la posible superposición entre polígonos y por último se empleó el atributo “disolver” para consolidar datos y extraer área mediante la calculadora de campos.

Después de lo mencionado anteriormente, se realizó el análisis de los datos obtenidos durante los años 2003, 2017, 2018 y 2020.

Las áreas del municipio se establecieron en 5 clases basadas en una fotointerpretación visual y se definieron 9 categorías que se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 11. Clases aplicadas

NIVEL	DESCRIPCIÓN	SUBNIVEL	DESCRIPCIÓN
1	Territorios artificializados	1.1	Zonas urbanizadas
		1.2	Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación
2	Territorios agrícolas	2.1	Cultivos anuales o transitorios
		2.2	Cultivos permanentes
		2.3	Pastos
3	Bosques y áreas seminaturales	3.1	Bosques
		3.2	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva
		3.3	Áreas abiertas sin o con poca vegetación
5	Superficies de agua	5.1	Aguas continentales

10.1. Resultados objetivo 1

- Consolidado año 2003

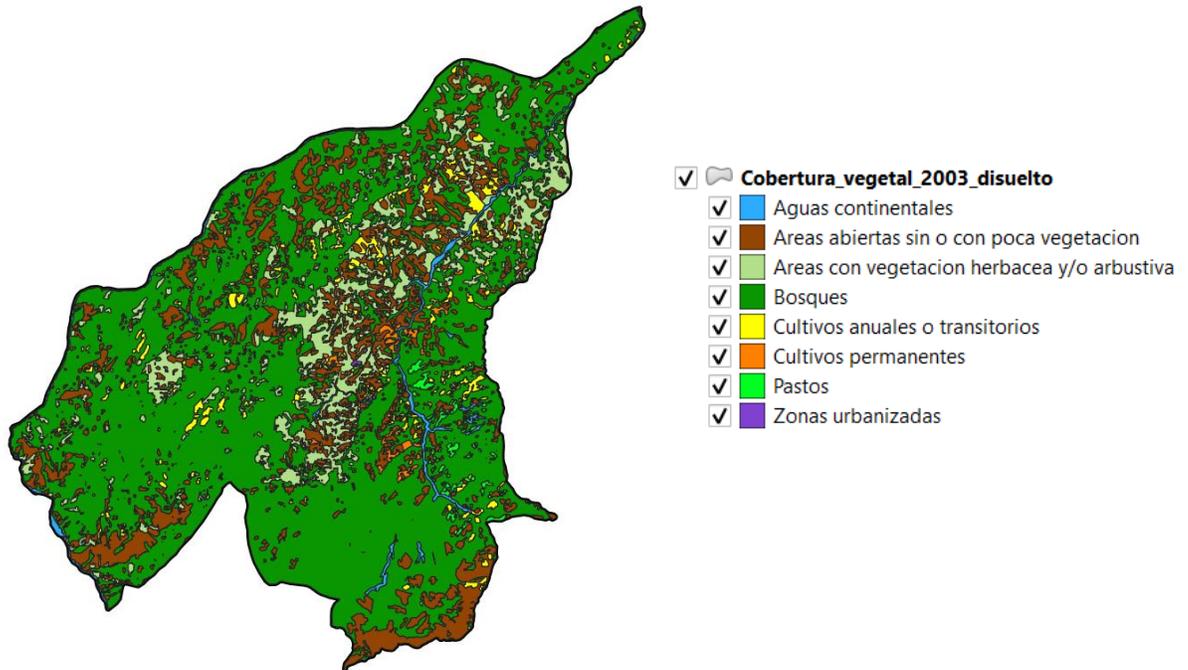


Figura 3. Cobertura vegetal clasificada año 2003

- De la fotointerpretación visual del año 2003 se obtuvo que del área total clasificada (381,81 Km²) el mayor porcentaje corresponde a zonas boscosas (65,27%) equivalente a 249,19 Km². En segundo lugar, las áreas abiertas sin o con poca vegetación representan el 17,22% (65,73 km²). En tercer lugar, las áreas con vegetación herbácea o arbustiva con un 11,3% (43,1 km²). En cuarto lugar, se obtiene que los cultivos anuales o transitorios ocupan un 3,2% (12,314 km²). En quinto lugar, los pastos representan un 0,7% (2,63 km²). En sexto lugar, cultivos permanentes con un 0,7% (2,561 km²). Por último, se tiene que zonas urbanizadas representa el porcentaje más bajo del área total para el año en cuestión con un porcentaje de 0,1% (0,3 km²).

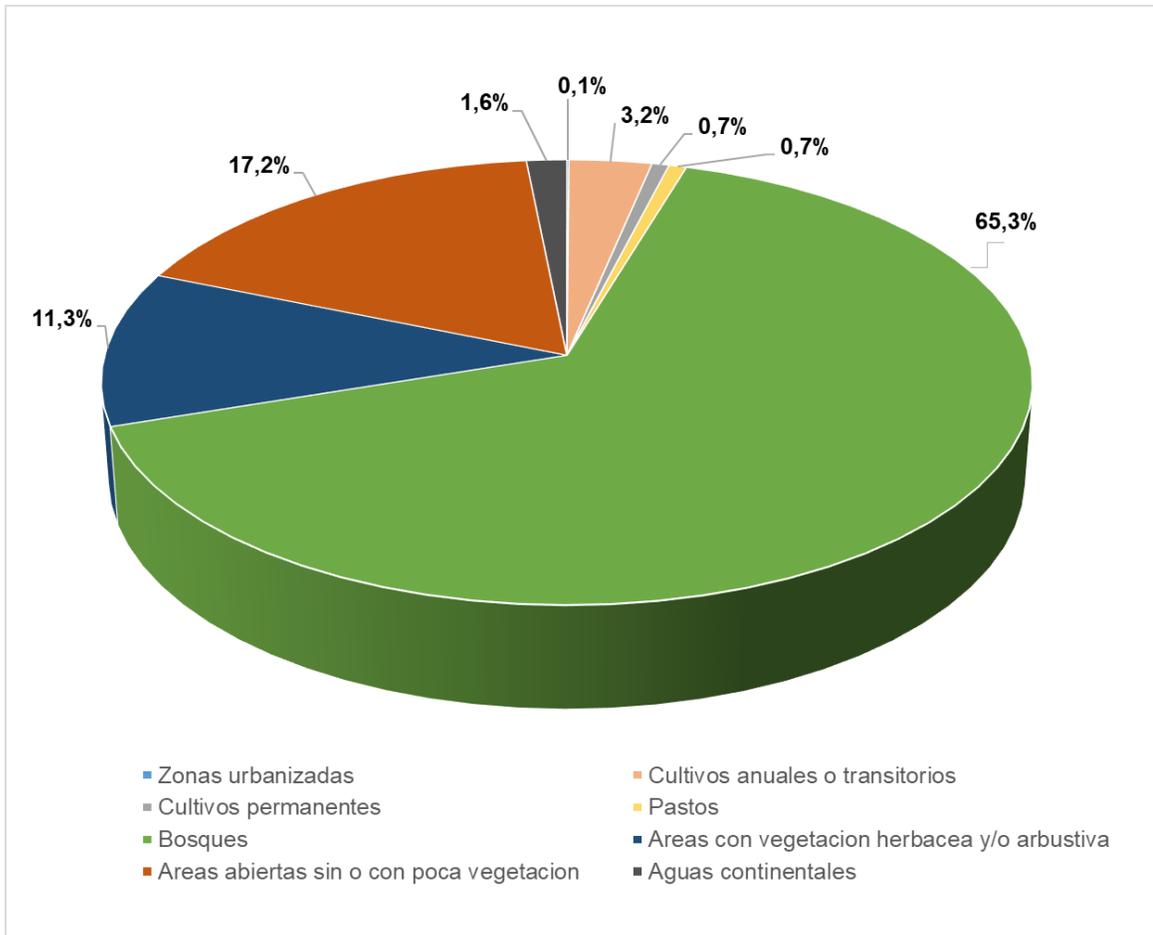


Gráfico 1. Porcentaje de áreas de cobertura vegetal en el municipio de Briceño - Año 2003

- Consolidado año 2017

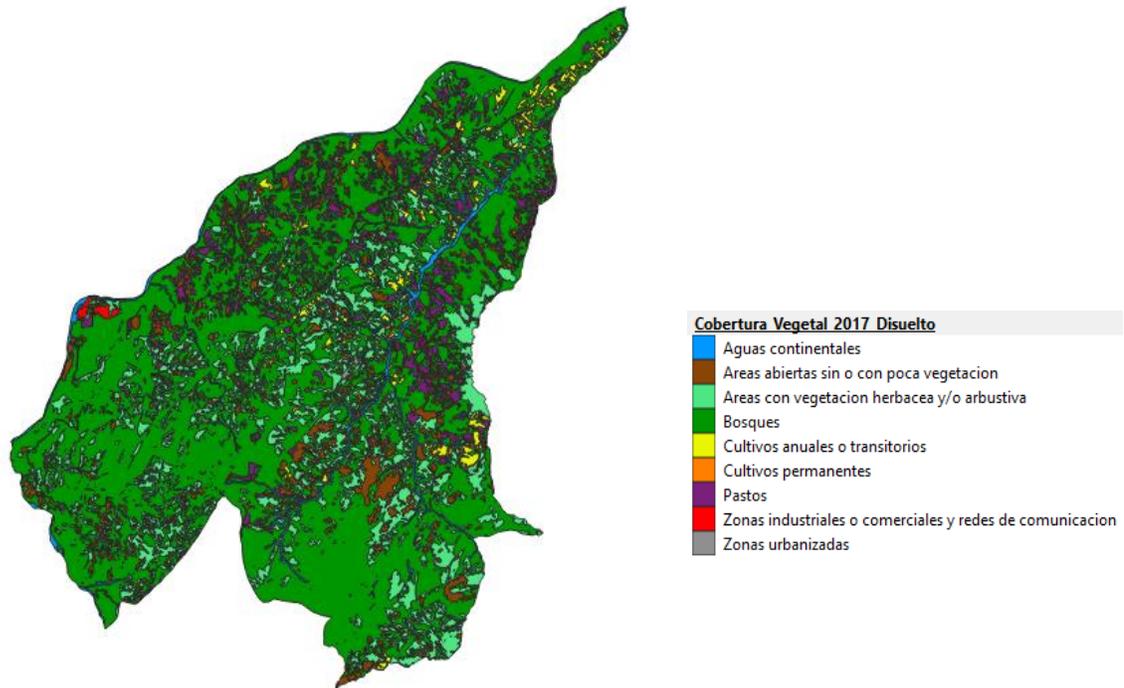


Figura 4. Cobertura vegetal clasificada año 2017

- En el año 2017 se encontró que el área total clasificada es de 382,301 km² , de los cuales el 65% corresponde a bosques (248, 315 km²), en áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva 15.9% (60.950 km²) seguido de pastos con 6,9% (26,374 km²) áreas abiertas sin o con poca vegetación con un 6.1% (23,369 km²) en aguas continentales con un 2,1% (8,154 km²) zonas industriales o comerciales y redes de comunicación 1,9% (7,222 km²) áreas de cultivos anuales o transitorios con un 1,7% (6,472 km²) zonas urbanizadas con el 0,2% (0,822 km²) y por último cultivos permanentes 0,2% (0,623 km²)

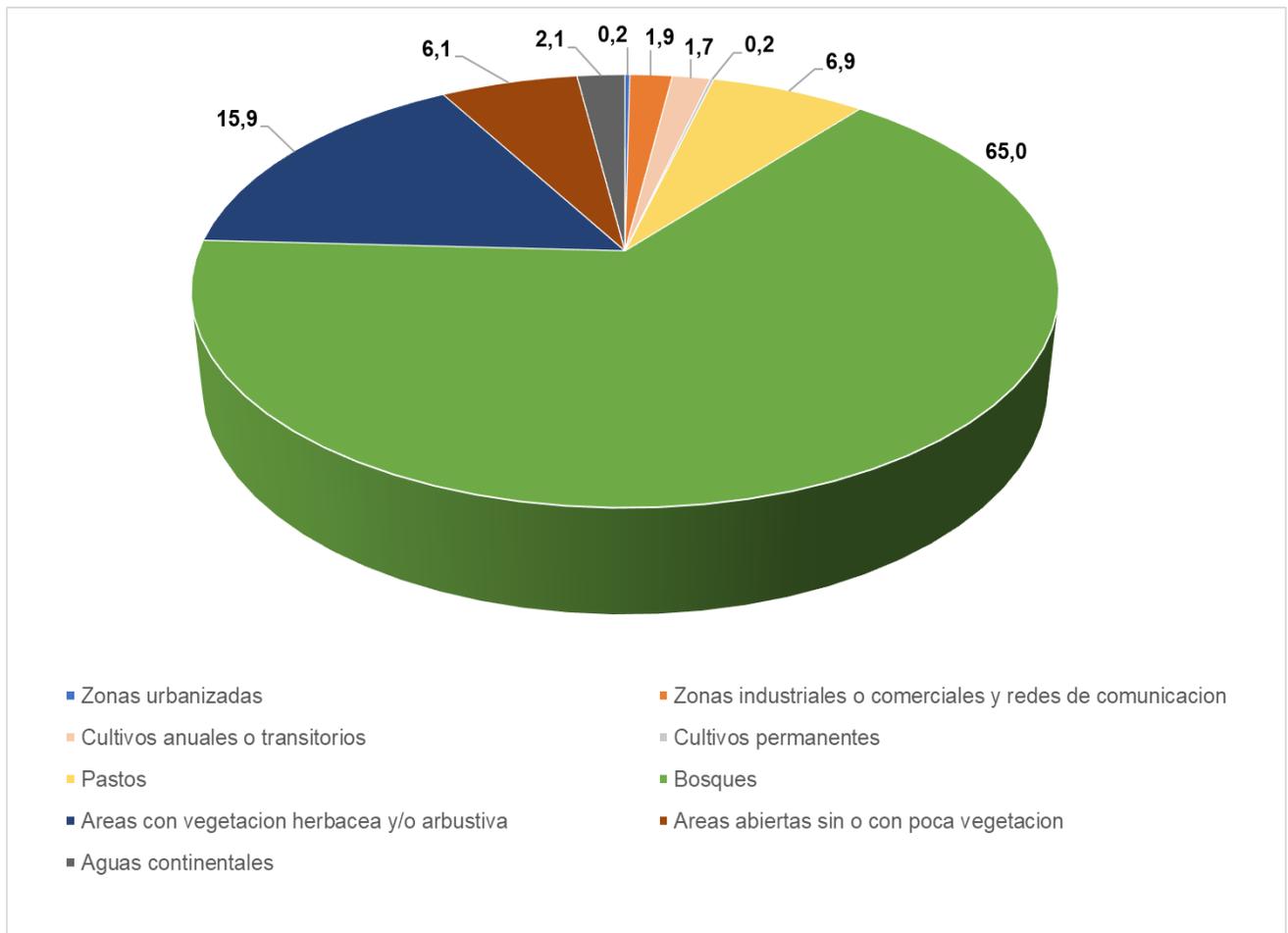


Gráfico 2. Porcentaje de áreas de cobertura vegetal en el municipio de Briceño - Año 2017

- Consolidado año 2018

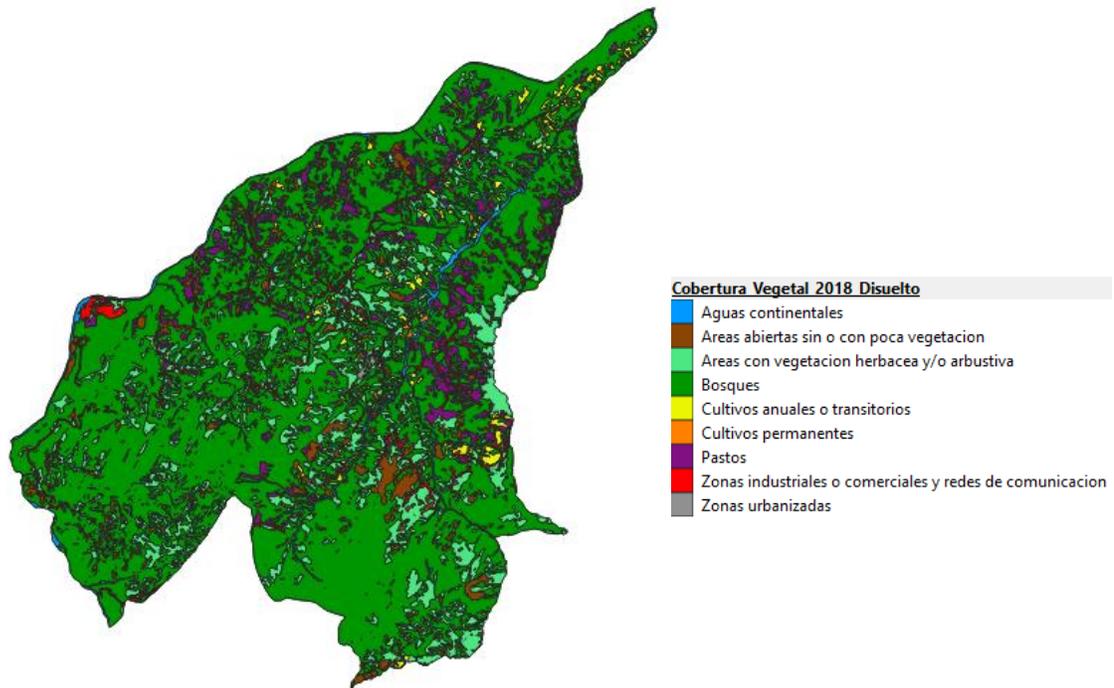


Figura 5. Cobertura vegetal clasificada 2018

- Para el año 2018 se encontró que el área total clasificada es de 381,855 km², de estos el 64,8% corresponde a bosques (247,585 km²), en áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva 15,8% (60.311 km²) seguido de pastos con 7,0% (26,566 km²) áreas abiertas sin o con poca vegetación con un 6,3% (24,112 km²) en aguas continentales con un 2,1% (8,154 km²) zonas industriales o comerciales y redes de comunicación 1,9% (7,249 km²) áreas de cultivos anuales o transitorios con un 1,7% (6,415 km²) zonas urbanizadas con el 0,2% (0,84 km²) y por último cultivos permanentes 0,2% (0,623 km²)

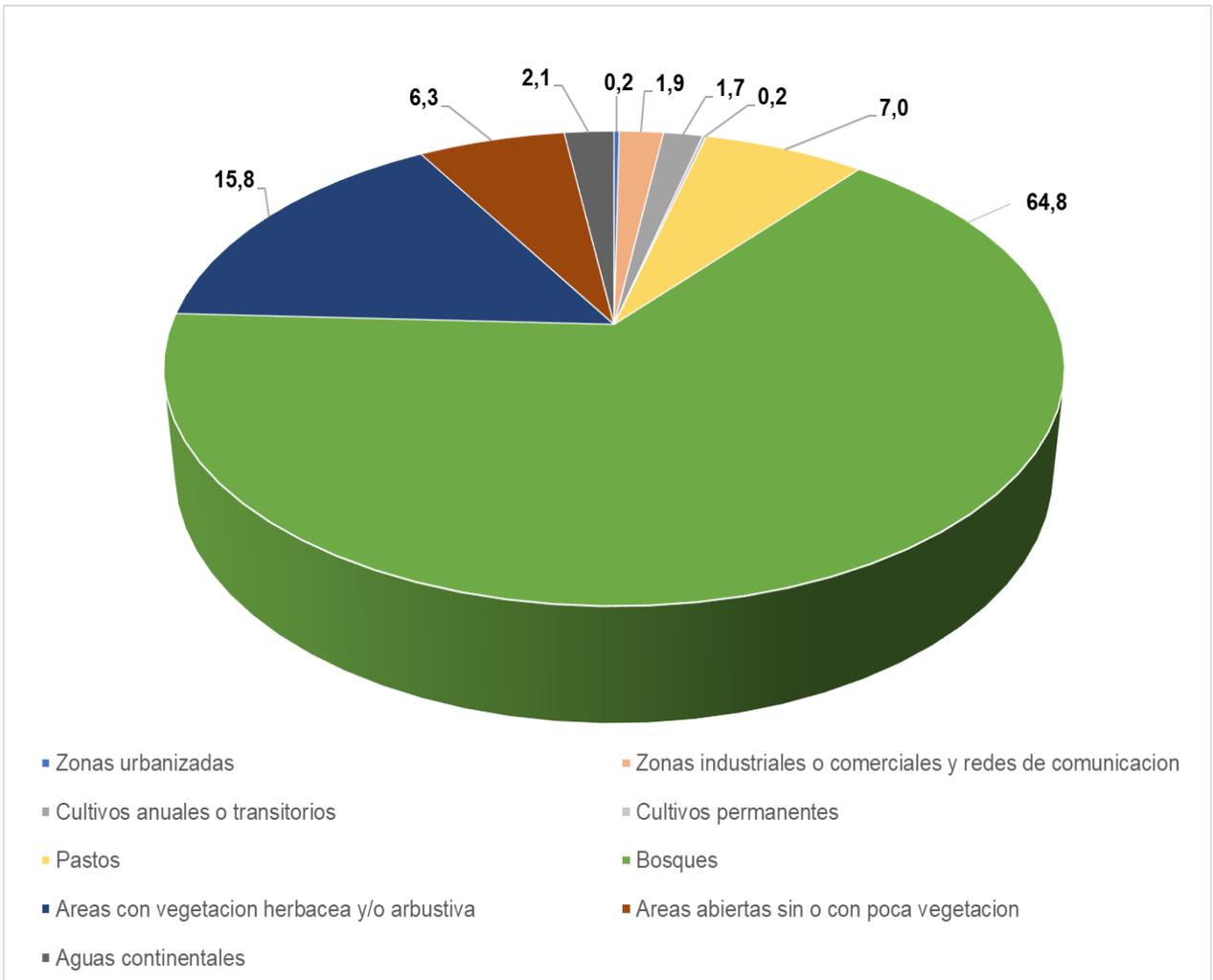


Gráfico 3. Porcentaje de áreas de cobertura vegetal en el municipio de Briceño - Año 2018

- Consolidado año 2020

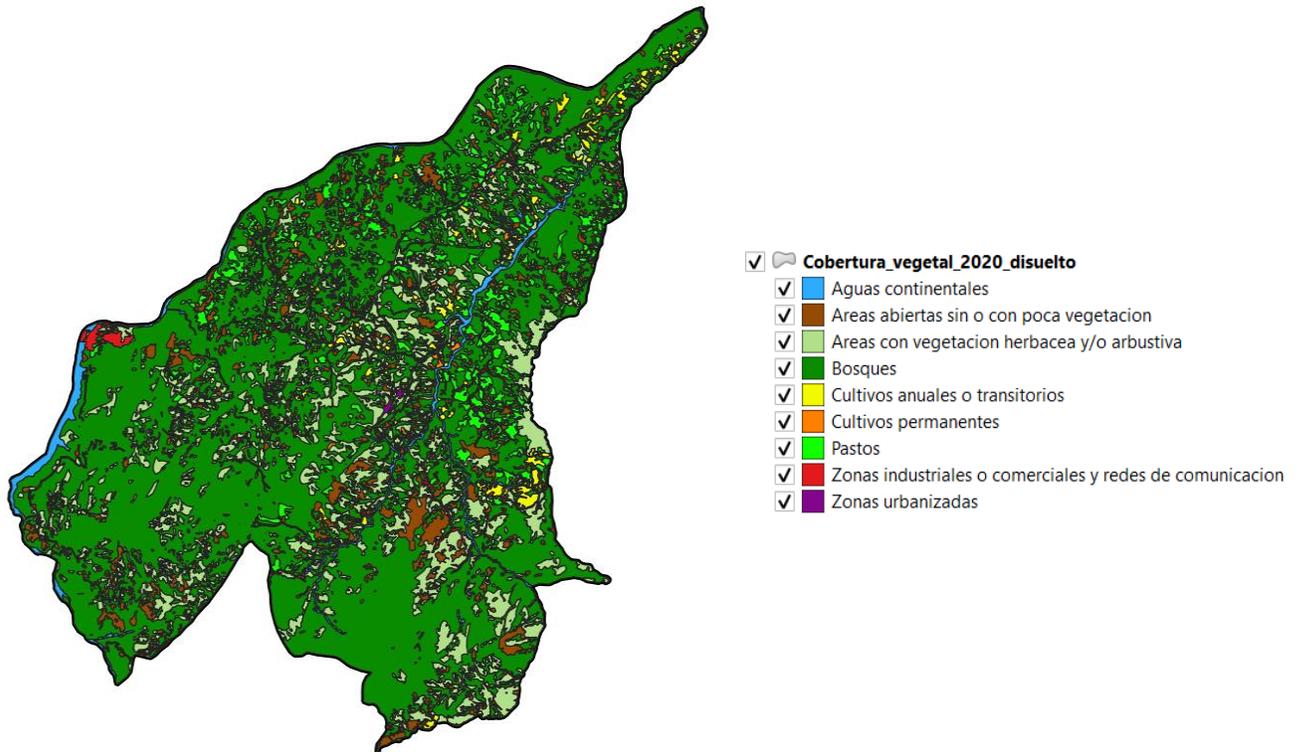


Figura 6. Cobertura vegetal clasificada - Año 2020

- Para el año 2020 se encontró que el área total clasificada es de 381,82 km² , de estos el 64,3% corresponde a bosques (245,431 km²), en áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva 15.8% (60.408 km²) seguido de pastos con 6,8% (25,872 km²) áreas abiertas sin o con poca vegetación con un 6,6% (25,016 km²) en aguas continentales con un 2,6% (9,787 km²) zonas industriales o comerciales y redes de comunicación 2,0% (7,558 km²) áreas de cultivos anuales o transitorios con un 1,6% (6,236 km²) zonas urbanizadas con el 0,2% (0,874 km²) y por último cultivos permanentes 0,2% (0,634 km²)

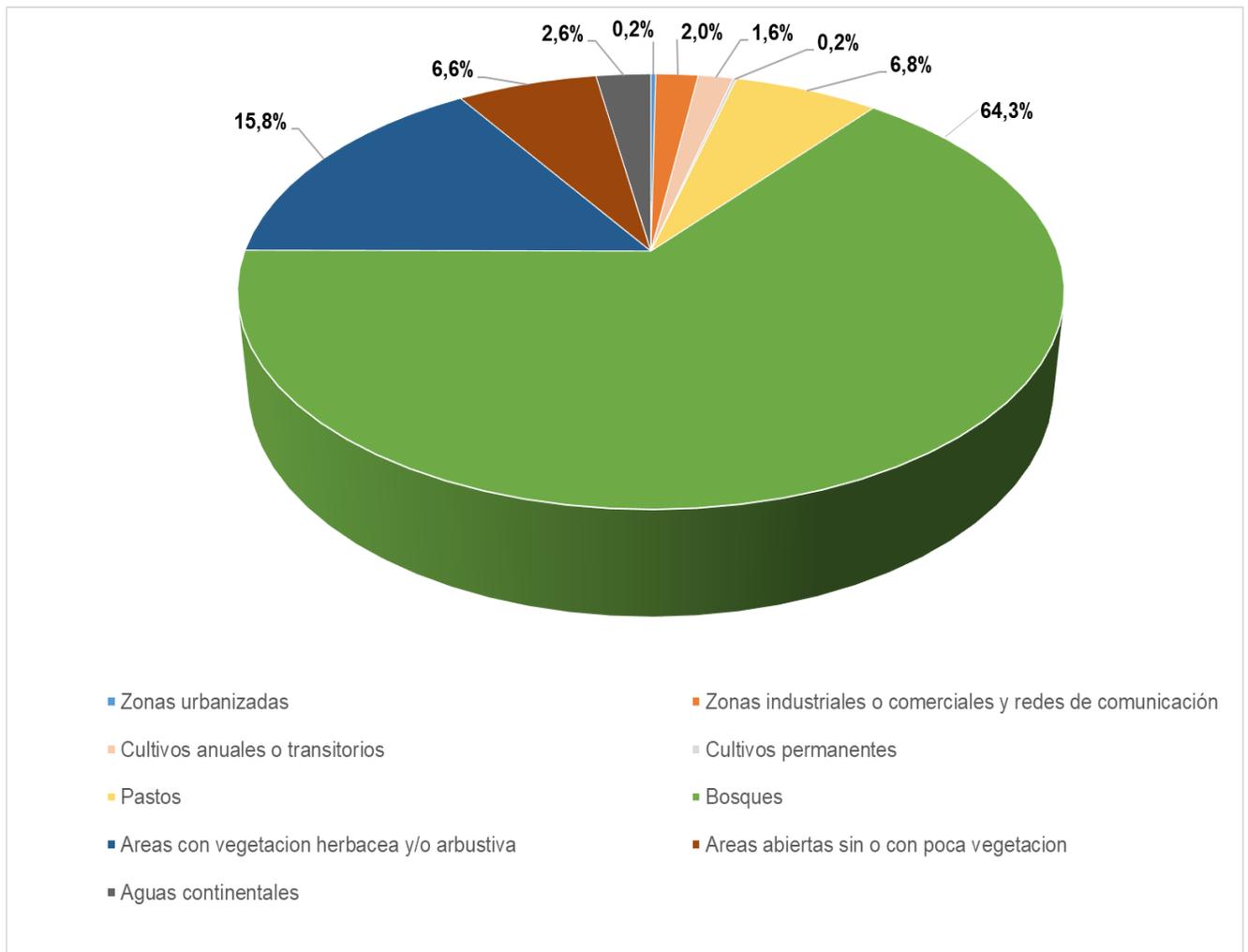


Gráfico 4. Porcentaje de áreas de cobertura vegetal en el municipio de Briceño - Año 2020

10.2. Resultados objetivo 2

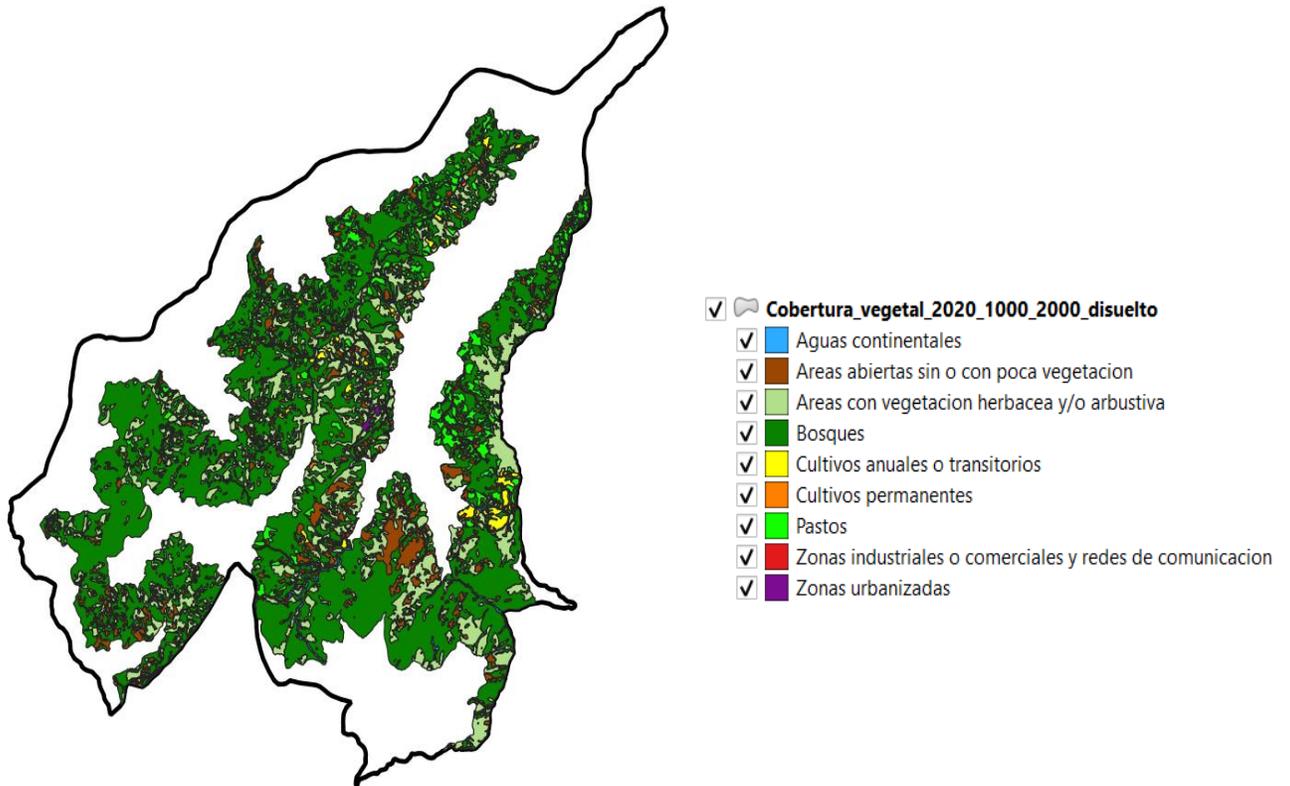


Figura 7. Cobertura vegetal clasificada en alturas entre los 1000 y 2000 m.s.n.m.- Año 2020

- **Cobertura vegetal clasificada en alturas entre los 1000 y 2000 m.s.n.m:** El área de cobertura analizada fue de 209,697 km² en la cual se establecieron las alturas idóneas para el cultivo de sustancias de uso ilícito, la cobertura vegetal en la fotointerpretación visual dio como resultado áreas con cultivos anuales o transitorios con un 1,25% correspondiente a 2,622 km² y cultivos permanentes con un 0,11% de cobertura del área 0,234 km², este último, es donde se ubican los posibles cultivos de uso ilícito. También se pudo observar la cobertura establecida en el territorio, siendo el bosque las zonas con mayor prevalencia en estas alturas, tal como muestra la figura a continuación.
- **Áreas de vegetación sin presencia de posibles cultivos de uso ilícito:** De la totalidad de área de cobertura vegetal en el año 2020 (381,82 km²), 172,13 km², es decir el 45,08%, no hace parte de vegetación que se encuentra dentro de los 1000 y 2000 m.s.n.m. y que, por esta característica, no son ambientes

propicios para el crecimiento de cultivos de uso ilícito, por ende, se podría afirmar que, en el área mencionada, no hay presencia de estas plantaciones.

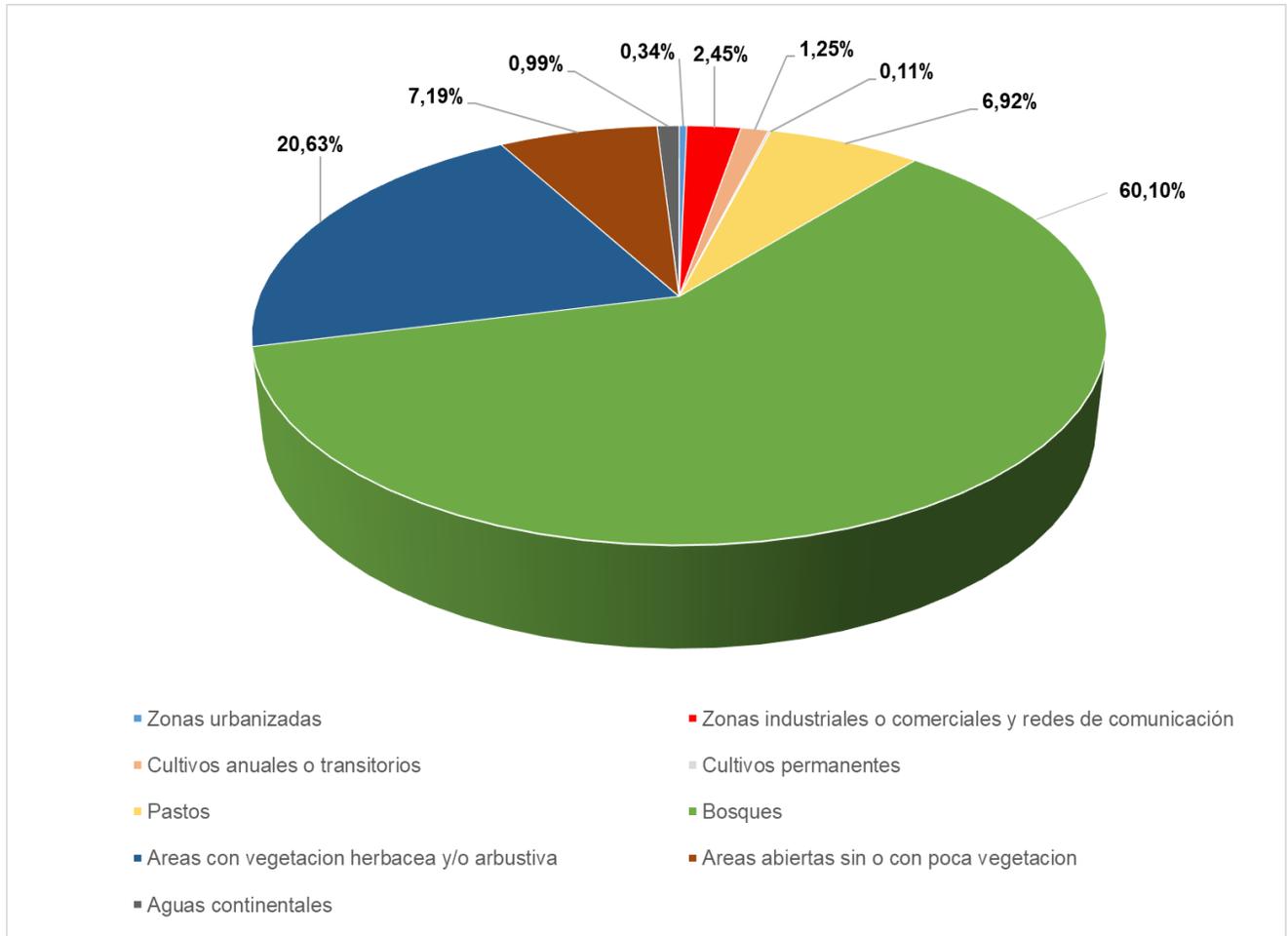


Gráfico 5. Porcentaje de áreas, en alturas entre los 1000 y 2000 m.s.n.m. - Año 2020

10.3. Resultados objetivo 3

➤ **Modelo automatizado para clasificación de cobertura.**

• **Primera parte:**

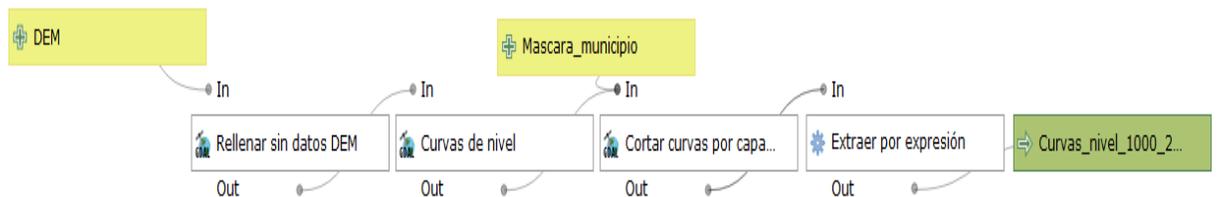


Figura 8. Componente uno del modelo de automatización, extracción de curvas de nivel

El modelo que se realizó para la clasificación de la cobertura, consta de dos componentes, el primero nos permite extraer desde un DEM -Modelo digital de elevación, por sus siglas en inglés- las curvas de nivel en las alturas entre los 1000 y 2000 m.s.n.m en los cuales se asocia el mayor índice de cultivos de uso ilícito dentro de un territorio, para ejecutar este modelo es necesario contar con una imagen DEM del territorio y con un polígono referente al área de interés, con este proceso se facilita en tiempo el análisis detallado de la zona de estudio. Los procesos que en este se ejecutan permite en primera instancia rellenar los vacíos en la imagen DEM, posteriormente se extrae las curvas de nivel mediante el uso del proceso extracción, curvas de nivel, para luego realizar un corte usando como máscara el polígono del área de estudio y finalmente se aplica el proceso de extraer por expresión usando el código ("ELEV" \geq 1000 AND "ELEV" \leq 2000) lo que permite visibilizar las alturas seleccionadas, posteriormente a este resultado se debe aplicar un proceso únicamente manual que consiste en dibujar un polígono sobre las curvas de nivel generadas en esta primera parte del modelo.

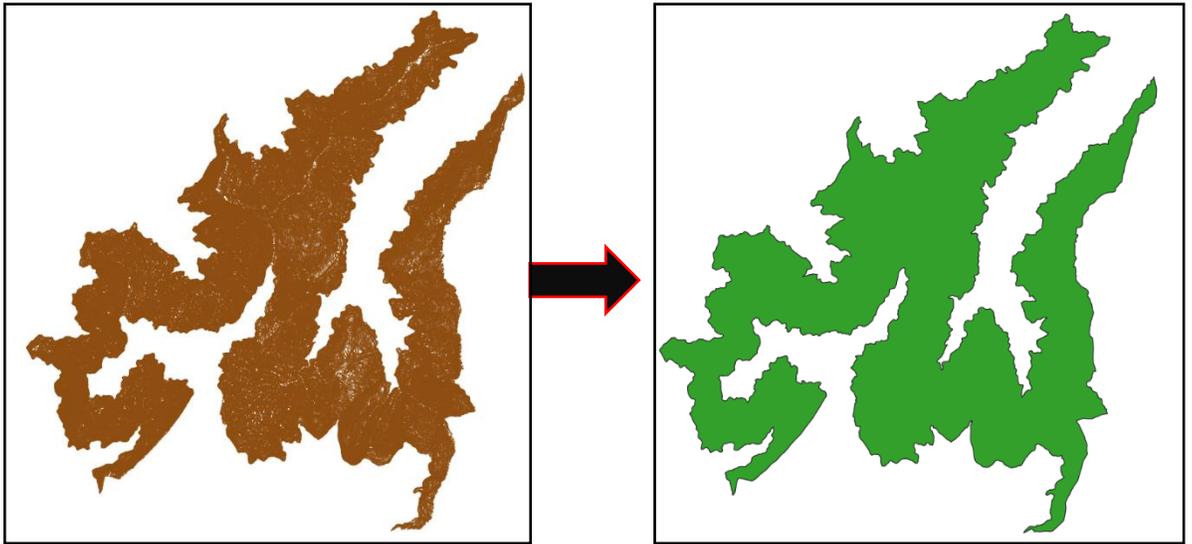


Figura 9. Representación parte 1, construcción de modelo de automatización

- **Segunda parte:**

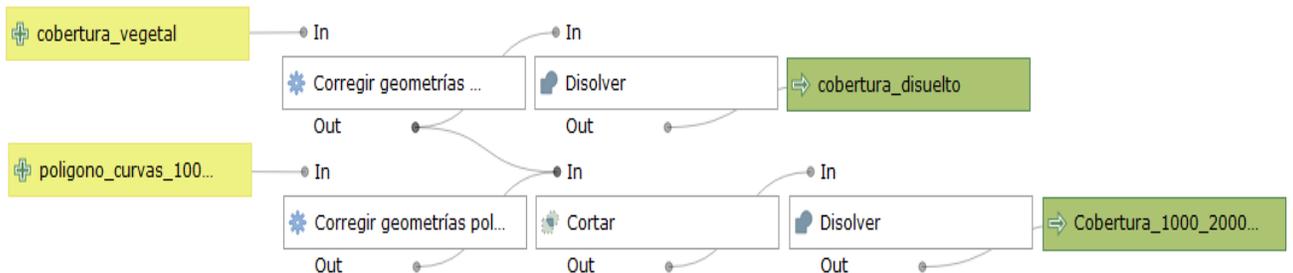


Figura 10. Componente dos del modelo de automatización, cobertura vegetal

El segundo componente del modelo de automatización requiere inicialmente de realizar una clasificación de la cobertura presente en la zona de estudio de forma manual, este consiste en dibujar polígonos sobre las diferentes capas vegetales, basándose en una interpretación visual.

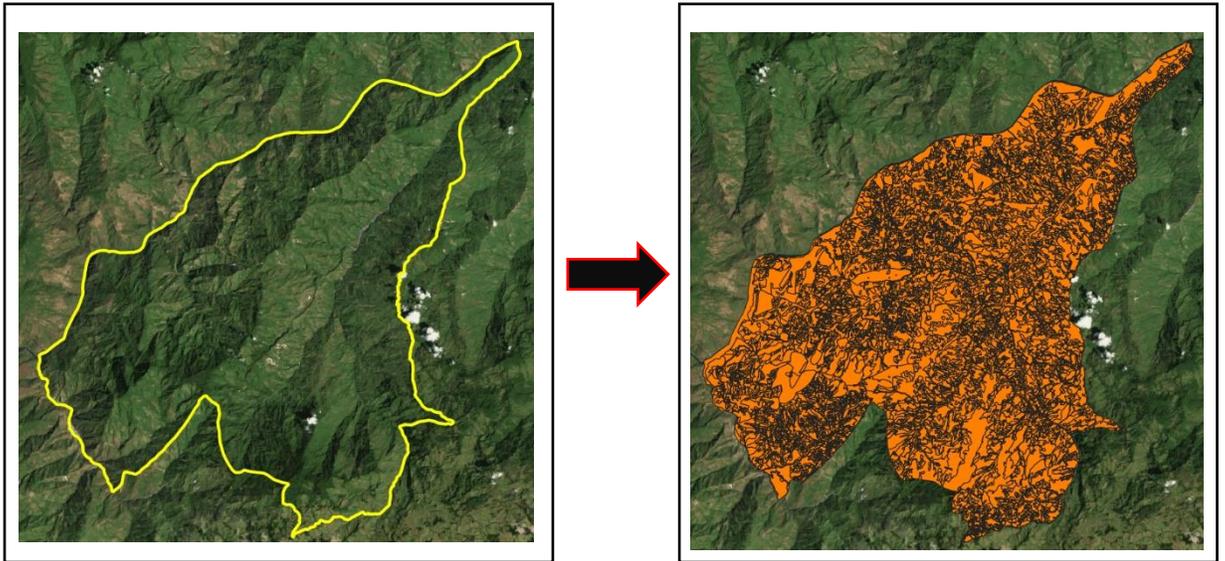


Figura 11. Representación parte 2, construcción modelo de automatización

Una vez se obtienen estos datos, se ingresan a la segunda parte del modelo, donde en la primera fase se aplica una corrección de geometrías, que se encarga de eliminar errores que puedan presentarse entre los polígonos, una vez se ejecuta este proceso se aplica la herramienta disolver, seleccionando el atributo requerido, para finalmente obtener los datos necesarios del área en general y las zonas establecidas en las alturas dispuestas.

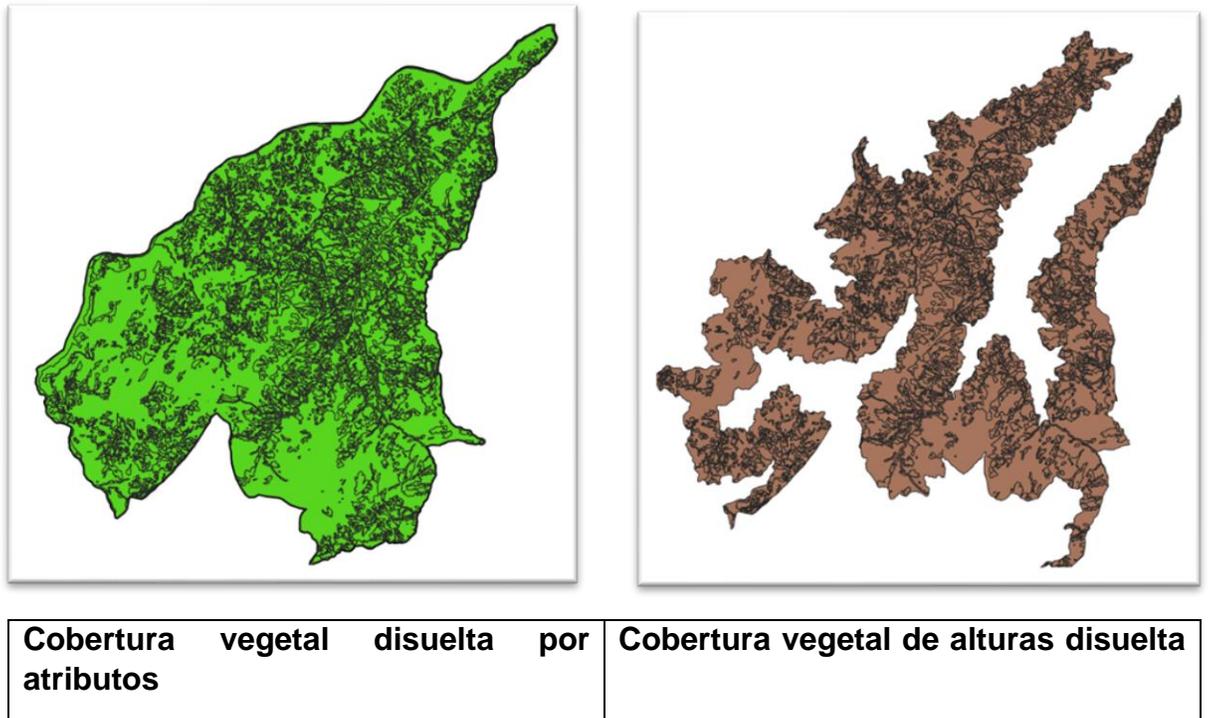


Figura 12. Proceso de automatización culminado

Análisis general

Se realizó un análisis de la cobertura terrestre en el municipio de Briceño, con esta se obtuvieron datos relevantes, se ve una disminución en las áreas de bosque en el periodo de tiempo de 17 años, desde el 2003 a 2020 con una pérdida de 1.5% bosque, esto más explícitamente en las áreas de influencia del proyecto hidroeléctrico Ituango. Se observa también un aumento en las zonas de vegetación herbácea y/o arbustiva, además existe un movimiento ondulante en las áreas abiertas sin o con poca vegetación en las cuales para el periodo de 2003 a 2017 disminuye pasando de 65,73 km² a 23,369 km² para que posterior a este periodo aumenten y en el 2020 pasen a ser de 25.016 km.

Se visualiza también un aumento en las zonas industriales o comerciales y redes de comunicación en donde se incluyen las vías de movilización del municipio y además de las zonas urbanizadas, tanto en la cabecera municipal como en los demás centros poblados, con un aumento significativo hacia el área de influencia de la hidroeléctrica.

En cuanto a los cultivos observados dentro de la interpretación visual, las áreas con cultivos permanentes muestran una tendencia de disminución en territorio desde 2003 a 2017 para mantenerse estable durante el 2018, luego se ve un leve aumento hasta el año de 2020; contrastado con los cultivos anuales o transitorios en los que se ve una disminución significativa del 49.3% en este periodo de tiempo pasando de 12,314 km² en 2003 a 6,236 km² en 2020.

La erradicación manual de cultivos de uso ilícito puede ser aplicada con diversas técnicas que pueden afectar la cobertura terrestre. No obstante, con el tipo de metodología utilizada en el estudio, basada en una fotointerpretación visual, no fue posible determinar si los cambios obtenidos en el periodo de 2003 a 2020 se dieron por este motivo, debido a que, aunque se categorizaron los polígonos no se pudo establecer la tipología del cultivo, lo que dificultó la interpretación de los resultados, esto por la variación de la resolución de los satélites utilizados (30x30 m. para imágenes del satélite Landsat y 15x15 para imágenes del satélite Sentinel) además de la inviabilidad de georreferenciar puntos críticos en terreno. Sin embargo, se logró identificar que con el proyecto hidroeléctrico Ituango aumentaron las aguas continentales y las zonas industriales y comerciales, generando una disminución en la vegetación.

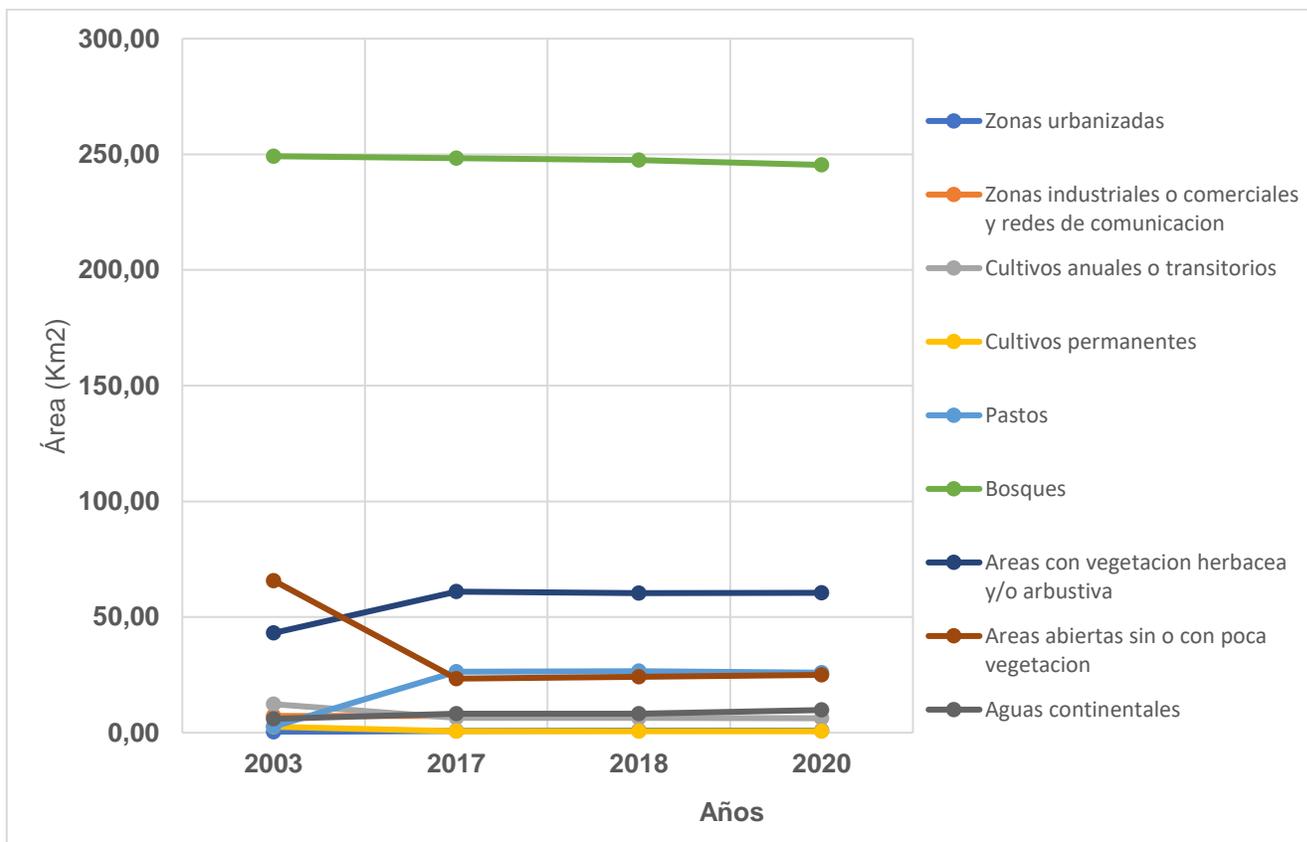


Gráfico 6. Cambios en la cobertura vegetal en áreas- Período 2003-2020

Tabla 4. Cambios en la cobertura vegetal en áreas- Período 2003-2020

COBERTURA	2003	2017	2018	2020
Zonas urbanizadas	0,30	0,82	0,84	0,87
Zonas industriales o comerciales y redes de comunicacion		7,22	7,25	7,56
Cultivos anuales o transitorios	12,31	6,47	6,42	6,24
Cultivos permanentes	2,56	0,62	0,62	0,63
Pastos	2,63	26,37	26,57	25,87
Bosques	249,19	248,32	247,59	245,43
Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	43,09	60,95	60,31	60,41
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	65,73	23,37	24,11	25,02
Aguas continentales	6,00	8,15	8,15	9,79

Limitantes

- No se obtuvo una identificación adecuada de cultivos de uso lícito e ilícito, debido a las diferencias en las resoluciones de las imágenes y la inviabilidad para realizar trabajo en campo.
- Acceso restringido a las fuentes de información por parte de las entidades territoriales.

11. Discusión

Cuando se realiza un análisis multitemporal de la cobertura vegetal de un municipio o de un territorio en particular, son muchos los factores que influyen sobre la información presentada, incluso, la selección de imágenes para procesar se convierte en un limitante que genera alguna distorsión en los datos, estas vicisitudes son eludidas en algunos casos con un trabajo en basado en el conocimiento físico y presencial del territorio a analizar, como lo exponen algunos estudios de clasificación utilizando SIG.

“Según Chuvieco, este método requiere un cierto conocimiento de la zona de estudio, adquirido por experiencia previa o por trabajos en campo. La familiaridad que se tiene con el área de interés permitió delimitar sobre las imágenes zonas representativas (áreas de entrenamiento) de cada una de las clases presentes en la imagen”. (78)

Las presiones que ejercen diversos factores sobre las coberturas terrestres hacen que los entornos se modifiquen, cambiando las diversas dinámicas de la población en determinado espacio, esta transformación marcan la forma de relacionarse de las poblaciones e incluso en cómo se produce riqueza desde la explotación de los recursos, aspectos que son visibles en el análisis del municipio de Briceño en cuanto a los cambios ocasionados por la expansión urbana y los proyectos a gran escala y adicionalmente a la presencia y lucha contra los cultivos ilícitos.

En los estudios realizados sobre aspectos productivos y cobertura vegetal, se establece una relación directa que demuestra que al modificar uno de estos aspectos, varios factores se modifican en las relaciones de la población y uno de los medios, como es visible en los estudios temporales de café y las coberturas de los terrenos.

“Ya que las áreas censadas son diferentes, la superficie en cada cobertura fue convertida en porcentaje del área total censada, para así poder comparar y analizar la evolución de las coberturas del suelo. Es interesante anotar que, a pesar de la reducción en la superficie total sembrada en café, la proporción en

café ha permanecido prácticamente constante. Los cambios de cobertura vegetal más notorios son la reducción del porcentaje de pastos, y el aumento de la proporción de otros cultivos y de bosques y rastrojos. Esto sugiere que el paisaje, al mismo tiempo que está experimentando un proceso de intensificación agrícola, se está volviendo más heterogéneo”. (79)

Los productos generados por el análisis de los territorios y sus vínculos con la salud ambiental de la población deben dar respuesta a la necesidad de fortalecer el bienestar de las personas y el manejo adecuado de los recursos, en donde se debe ser claro en la compensación de los recursos naturales perdidos y la forma lícita del mantenimiento productivo de las áreas rurales, los cuales vienen estableciendo una pérdida paulatina de diversidad en bosques.

12. Recomendaciones.

Los procesos de clasificación de cobertura vegetal deben ser constantes, esta herramienta permite tener un elemento de planeación fundamental para el territorio y el monitoreo de cultivos de usos ilícitos.

Es necesario contemplar una clasificación supervisada para dar mayor confiabilidad a los datos procesados, en la cual se confronte los resultados de la clasificación visual, que permita establecer las características de los cultivos que se encuentran en el terreno.

13. Bibliografía

1. UNODC (United Nations Office on Drugs and Crime). RESUMEN, CONCLUSIONES Y CONSECUENCIAS EN MATERIA DE POLITICA World Drug Report 2018 RESUMEN (CONCLUSIONES). World Drug Rep 2018 [Internet]. 2018;1–10. Available from: http://fileserv.idpc.net/library/WDR18_ExSum_Spanish.pdf
2. Lorduy Johana. La República. Colombia es el mayor productor de drogas de acuerdo con un informe realizado por la ONU. [Internet]. [Consultado 30 Ene 2021]. Disponible en: <https://www.larepublica.co/economia/colombia-el-mayor-productor-de-drogas-de-acuerdo-con-un-informe-de-la-onu-2878057>
3. Estes-Jackson JE, Shewmake DW, Siguaw SG. Changes in attitudes, changes in attributes: Using 3-D seismic to identify new opportunities in old fields-Riverton Dome Field, Wyoming. Mt Geol. 2000;37(1):33–45.
4. United Nations Office on Drugs and Crime. Sustainable development in an opium production environment: Afghanistan Opium Survey Report 2016. 2017;88. Available from: http://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Afghanistan/Afghanistan_sustainable_development_for_web.pdf
5. Afganistán: El opio da de comer, pero a un precio muy alto | Noticias ONU [Internet]. [cited 2020 Jul 27]. Available from: <https://news.un.org/es/story/2018/05/1434212>
6. Windle J. Drugs and drug policy in Thailand. Foreign Policy at Brookings [Internet]. 2015;1–16. Available from: http://www.unodc.org/documents/data-and-analysis/Studies/TOCTA_EAP_web.pdf;
7. Rojas L, Parra D. Procesos de sustitución y erradicación de cultivos ilícitos a nivel mundial: un punto de partida para Colombia. 2018; Available from: <https://www.elementa.co/wp-content/uploads/2018/05/Procesos-de-sustituci%C3%B3n-y-erradicaci%C3%B3n-de-cultivos-il%C3%ADcitos-a-nivel-mundial-un-punto-de-partida-para-Colombia-1.pdf>
8. Récorde de cultivo de hoja de coca, nuevos cárteles y aumento de la violencia: la droga en América Latina | Noticias ONU [Internet]. [cited 2020 Jul 27]. Available from: <https://news.un.org/es/story/2020/02/1470231>
9. UNODC. Monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos 2018. [Internet] [Consultado 2020 Jul 21]. Disponible en : https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Informe_Monitoreo_de_Territorios_Afectados_por_Cultivos_Illicitos_2018.pdf

10. Gutiérrez Sanín F, Machuca Pérez DX, Cristancho Bohada S. ¿Obsolescencia programada? La implementación de la sustitución y sus inconsistencias. *Análisis Político* [Internet]. 2019;32(97):136–60. Available from: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/anpol/article/view/87197/74924>
11. Vargas Manrique C. Cultivos ilícitos y erradicación forzosa en Colombia. *Cuad Econ (Santafé Bogotá)*. 2004;23(41):109–41.
12. UNODC. Perú: Monitoreo de Cultivos de Coca 2017. Of las Nac Unidas contra la Drog y el Delito. 2018;95.
13. Rosalina González Forero D, Beatriz D, Ortiz Gutiérrez E, María D, Romero AE. Afectados Por La Presencia De Artefactos Explosivos Environmental Impact On Colombian Soils Affected By The Presence Of Explosive Ordnance. Vol IX, N° [Internet]. 2017 [cited 2020 Jul 29];1. Available from: <http://www.unex.es/eweb/monfragueresilentehttp://www.unex.es/eweb/monfragueresilente>
14. Viviana C, Ballén V. Evaluación de la afectación ambiental de suelos a partir de las variaciones fisicoquímicas generadas por explosiones de anfo y pólvora (tipo Barragán) en suelos arcillosos de los municipios de Cogua y Nemocón. 2008;
15. La triste paradoja de los cultivos ilícitos en Antioquia | VerdadAbierta.com [Internet]. [cited 2020 Aug 18]. Available from: <https://verdadabierta.com/la-triste-paradoja-de-los-cultivos-ilicitos-en-antioquia/>
16. Camacho-Sanabria José, Juan Pérez Isabel, Pineda Jaimes Noel, Cadena Vargas Gilberto. Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña [Consultado 08 Ago 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140504712015000100008
17. Restrepo Parra Adrián. Guerra contra las drogas, consumidores de marihuana y legalización. URVIO [Internet] 15 de abril de 2013; número 13: pág. 69- pág. 80 [consultado 2021 junio 16] Disponible en: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/3774/1/RestrepoAdrian_2013_GuerraDrogasConsumidores.pdf
18. Policía Nacional Dirección De Antinarcóticos. COCA: Deforestación, contaminación y pobreza [Internet] [Consultado 2021 junio 16] Disponible en: <http://www.odc.gov.co/Portals/1/publicaciones/pdf/oferta/estudios/OF5022014-coca-deforestacion-contaminacion-pobreza.pdf>
19. Monsalve R. Briceño se libró de la coca, pero no de la incertidumbre. *El Colombiano* 11 de abril de 2018. Disponible en: <https://www.elcolombiano.com/antioquia/briceno-se-libro-de-la-coca-pero-no-de-la-incertidumbre-YY8526076>
20. Volcy C. Historia de los conceptos de causa y enfermedad: Paralelismo entre la medicina y la fitopatología. *Iatreia*. 2007;20(4):407–21. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/iat/v20n4/v20n4a7.pdf>

21. Ávila-Agüero ML. Hacia una nueva Salud Pública: determinantes de la Salud. Acta Med Costarric. 2009;51(2):71–3. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/amc/v51n2/art02v51n2.pdf>
22. Gutiérrez, Ruvalcaba. La salud y sus determinantes, promoción de la salud y educación sanitaria. [Internet]. [Consultado 30 Ene 2021]. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2529-850X2020000100081
23. OPS. Determinantes ambientales de la salud. [Internet]. [Consultado 30 Ene 2021]. Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/determinantes-ambientales-salud>
24. Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos - UNODC. Características agroclimáticas de los cultivos de coca en Colombia. Nac Unidad Of contra la Drog y el Delito [Internet]. 2005;117. Disponible en: http://www.biesimci.org/Documentos/archivos/hoja_coca.pdf
25. Alfaro-Alfaro N. Los determinantes sociales de la salud y las funciones esenciales de la salud pública social. Salud Jalisco [Internet]. 2014;1(1):36–46. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/saljalisco/sj-2014/sj141j.pdf>
26. La U, Sus SY, La D, La PY, Preventiva M. Unidad 1. La salud y sus determinantes. la salud pública y la medicina preventiva. :1–15. Disponible en: <http://preventivaysocial.webs.fcm.unc.edu.ar/files/2014/04/MPyS-1-Unidad-1-Determinantes-de-la-Salud-V-2013.pdf>
27. Duran AG. Impacto de los cultivos de hoja de coca y el desplazamiento forzado en el PIB agrícola en Colombia. :1–18. Disponible en: https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/15196/Daniel_Zapata_Alejandro_garc%C3%ADa_2019.pdf?sequence=2&isAllowed=y
28. Andrade FH. Los desafíos de la agricultura. [Internet]. [Consultado 30 Ene 2021]. Disponible en: <http://up-rid2.up.ac.pa:8080/xmlui/handle/123456789/1806>
29. Krapovickas A. Sembrar, plantar, cultivar, domesticar. Bonplandia. 2011;20(2):419. Disponible en: https://www.researchgat52e.net/publication/335584690_Sembrar_plantar_cultivar_domesticar
30. Garzon Vergara Juan, Gelvez Juan, Silva Aparicio Angela, Los Costos Humanos De La Erradicación Forzada ¿Es El Glifosato la Solución?. FIP [Internet] 2019 [Consultado 10 Feb 2021]. Disponible en: <https://www.ideaspaz.org/publications/posts/1734>
31. FAO. Agricultura y medio ambiente. [Internet]. [Consultado 30 Ene 2021]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/y3557s/y3557s11.htm>
32. Ministerio de Agricultura. ¿Cuáles cultivos tienen mayor potencial en Colombia? [Internet]. [Consultado 30 Ene 2021]. Disponible en: <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/%C2%BFCu%C3%A1les-cultivos-tienen-mayor-potencial-en-Colombia.aspx>
33. IGAC. ¿En dónde están los mejores suelos para cultivar en el país? [Internet]. [Consultado 30 Ene 2021]. Disponible en: <https://igac.gov.co/es/noticias/en-donde-estan-los-mejores-suelos-para-cultivar-en-el->

- 46.** Plenge-Tellechea Fernando, Sierra-Fonseca Jorge, Castillo-Sosa Yuren. Riesgos A La Salud Humana Causados Por Plaguicidas, Researchgate, [Internet] 2007. [Consultado 9 Feb 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Luis-Plenge/publication/242612286_Human_health_risks_caused_by_pesticides/links/54453f7b0cf2f14fb80ef7ef/Human-health-risks-caused-by-pesticides.pdf
- 47.** Campaña Colombiana Contra Minas, Problemática De Los Erradicadores Manuales De Cultivos Ilícitos Víctimas De Minas Antipersonal [Internet]. [Consultado 9 Feb 2021]. Disponible en: <https://colombiasinminas.org/wp-content/uploads/2011/06/Problematica-de-los-erradicadores-con-anexos.pdf>
- 48.** Morales Leonardo, Zapata Fredy, Erradicación Manual de Cultivos de Coca. [Internet]. [Consultado 10 Feb 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/20369/u319280.pdf?sequence=1>
- 49.** Aguilera Payares Mario, Herrera Castro Javier, Sensoramiento Remoto Satelital [monografía para optar a los titulo de: ingeniero electrónico] Cartagena, Universidad Tecnológica De Bolívar, 2007
- 50.** Achicanoy Jerson, Rojas-Robles Rosario, Sánchez Jorge, Análisis y proyección de las coberturas vegetales mediante el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica en la localidad de Suba, Bogotá-Colombia, [Internet]. [Consultado 9 Feb 2021]. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/68285/67007>
- 51.** López de Olmos Reyes Yasser, en millones de imágenes I Landsat: breve historia en millones de imágenes I, CIENCIORAMA, [Internet] [Consultado 9 Feb 2021]. Disponible en: http://www.cienciorama.unam.mx/a/pdf/334_cienciorama.pdf
- 52.** USGS [Internet], Washington [Consultado 9 Feb 2021]. Disponible en: https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con
- 53.** Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, España, El programa Copernicus aplicado a la producción y gestión de la información geoespacial [Internet] [Consultado 14 Feb 2021]. Disponible en: https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/actividades/OBS/Programa_Marco_Copernicus_User_Uptake/3_componente_espacio_Copernicus.pdf
- 54.** Rodríguez Morales Alfonso. Ecoepidemiología y epidemiología satelital: nuevas herramientas en el manejo de problemas en salud pública [Internet]. [Consultado 14 Feb 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342005000100009
- 55.** Muñoz Nieto Angel, Perez Gutierrez Carlos. Teledetección Nociones y Aplicaciones, [Internet], Salamanca, Universidad de Salamanca; 2006 [Consultado 14 Feb 2021]. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=SfrGxbO1DT0C&oi=fnd&pg=PA1&dq=teledetecci%C3%B3n+espacial&ots=pFfb->

[B8fFY&sig=zfW_bbotH7LASJSp7wHB0HjsW70&redir_esc=y#v=onepage&q=teledetecci%C3%B3n%20espacial&f=true](#)

- 56.** Cabello J, Paruelo J.M. La teledetección en estudios ecológicos. Ecosistemas [Internet] 2008, Volumen 17 [Consultado 14 Feb 2021]. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/77/74>
- 57.** Hurtado Miguel. Aplicaciones de la Teledetección Ambiental. Geoinnova [Internet] 2017 [Consultado 17 Feb 2021]. Disponible en: <https://geoinnova.org/blog-territorio/aplicaciones-de-la-teledeteccion-ambiental/>
- 58.** Quispe Trinidad, Miguel Angel. Deforestación En El Distrito De Luyando, Periodo 2001-2011 Y 2011-2018 [Ingeniería Ambiental] Tingo, Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2019.
- 59.** IDEAM, Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia Nivel subnacional -Escala gruesa y fina- [Internet] [Consultado 17 Feb 2021]. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022108/PARTE2.pdf>
- 60.** Reuter Fabian. Procesamiento digital de imágenes [Internet]. [Consultado 17 Feb 2021]. Disponible en: <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/lpr/pdf/p9.PDF>
- 61.** Alonso Sarría Francisco. Sistemas de Información Geográfica [Internet]. [Consultado 17 Feb 2021]. Disponible en: <https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>
- 62.** García Nieto Hilario, García Daguer Rolando R, Moreno Sánchez Rafael, González Ramos Alfredo. Uso de sensores remotos y SIG para delimitar los cambios en el uso del suelo agrícola de 1970 a 1997 en el estado de Guanajuato [Internet]. [Consultado 17 Feb 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112002000100007&script=sci_arttext
- 63.** Burstein Tania. Sistemas de información geográfica y su aplicación en la salud pública. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública [Internet] 2002, volumen 19 [Consultado 20 Feb 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-46342002000300001&script=sci_arttext&tlng=en
- 64.** PAHO [Internet] Organización Panamericana de Salud, 2003- 2008 [Consultado 20 Feb 2021]. Disponible en: <http://ais.paho.org/sigepi/index.asp>
- 65.** MAPPINGGIS [Internet] Valladolid: Morales Aurelio; [Consultado 20 Feb 2021]. Disponible en: <https://mappinggis.com/2017/06/geopackage-para-novatos-uso-en-arcgis-qgis-publicacion-en-geoserver/>
- 66.** Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital - Gerencia IDECA. Adaptación del Estándar GeoPackage en IDECA, Guía metodológica.[Internet]. [Consultado 20 Feb 2021]. Disponible en: <https://ideca.gov.co/sites/default/files/documentacion/guiageopackage.pdf>
- 67.** Chuvieco E. Fundamentos de Teledetección Espacial. 2a ed. Madrid: RIALP S.A;1995

68. ArcGIS Desktop. ¿Qué es una geodatabase? [Internet] [2021 agosto 16] Disponible en: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/geodatabases/what-is-a-geodatabase.htm>
69. ARCGIS [Internet]. 2019 [Consultado 20 Feb 2021]. Disponible en: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/administer-file-gdbs/file-geodatabases.htm>
70. Ojeda Toche Lilia, Tovar Plata Lizbeth. El análisis espacial como una herramienta para el estudio del transporte de carga urbano [Internet]. [Consultado 20 Feb 2021]. Disponible en: <http://ocs.editorial.upv.es/index.php/CIT/CIT2016/paper/viewFile/4125/1448>
71. Matellanes Roberto. Composiciones RGB de imágenes satélite. Geoinnova [Internet]. 2019 [Consultado 20 Feb 2021]. Disponible en: <https://geoinnova.org/blog-territorio/composiciones-rgb-de-imagenes-satelite/>
72. EOS [Internet]. EEUU 2015 [Consultado 20 Feb 2021]. Disponible en: <https://eos.com/es/make-an-analysis/natural-color/#:~:text=Debido%20a%20que%20esta%20combinaci%C3%B3n,y%20las%20costas%20son%20blancas%20.>
73. Alonso Diego. Combinación de bandas en imágenes de satélite Landsat y Sentinel. MAPPINGGIS [Internet] 2019 [Consultado 20 Feb 2021]. Disponible en: https://mappinggis.com/2019/05/combinaciones-de-bandas-en-imagenes-de-satelite-landsat-y-sentinel/#Color_natural
74. Monterroso Tobar Mario Fernando, Guía Práctica: Clasificación De imágenes Satelitales [Internet]. [Consultado 20 Feb 2021]. Disponible en: <http://arcgeek.com/descargas/ClasImMF.pdf>
75. IGAC, Ramírez Daza Héctor Mauricio, Imágenes multiespectrales de sensores remotos. [Internet]. [Consultado 20 Feb 2021]. Disponible en: https://www.un-spider.org/sites/default/files/Practica_ImagenesMultiespectralesDeSensoresRemotos_3.pdf
76. Palacio Prieto Jose, Luna Gonzalez Laura. Clasificación espectral automática vs Clasificación Visual [Internet]. [Consultado 20 Feb 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n29/n29a2.pdf>
77. Universidad de Murcia, Clasificación y teledetección [Internet]. [Consultado 20 Feb 2021]. Disponible en: <https://www.um.es/geograf/sigmur/teledet/tema09.pdf>
78. Mejía Ramírez Jorge Armando, Análisis multitemporal utilizando técnicas de Teledetección de la pérdida de cobertura vegetal por causa de la minería ilegal en el Bajo Cauca Antioqueño. [Especialización en Geomática] Bogotá, Universidad Militar Nueva Granada, 2016.
79. Guhl Andrés, Cafè y Cambio de Paisaje en la Zona Cafetera Colombiana Entre 1970 y 1997 [Internet]. [Consultado 20 Feb 2021]. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/102/1/arc055%2801%29029-044.pdf>