



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**Relación entre los cambios de la cobertura vegetal ocurridos en
la región del Valle de San Nicolás y los casos de dengue en
sus 9 municipios durante el periodo 2007-2019**

Deisy Viviana López Álvarez

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

2021



Relación entre los cambios de la cobertura vegetal ocurridos en la región del Valle de San Nicolás y los casos de dengue en sus 9 municipios durante el periodo 2007-2019

Deisy Viviana López Álvarez

Trabajo de grado optar al título de
Administradora 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 permitirme alcanzar este propósito en mi vida, a las personas que creyeron en mí y aportaron cada día para mi crecimiento personal y profesional y a la Facultad Nacional de Salud Pública por cada uno de los aprendizajes brindados.

Tabla de Contenido

1. Planteamiento del Problema	11
2. Objetivos	15
2.1. General	15
2.2. Específicos.....	15
3. Justificación.....	16
4. Marco Teórico	18
4.1. Cobertura Vegetal	18
4.2. Usos del suelo.....	19
4.3. Enfermedades Transmitidas por Vectores (ETV).....	19
4.3.1. Dengue	20
Biología del <i>Aedes aegypti</i>	20
Epidemiología del Dengue	21
Cuadro clínico de la enfermedad del Dengue	22
Factores determinantes en la aparición del Dengue	22
4.5. Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	23
4.6. Georreferenciación Espacial	24
4.7. Percepción Remota.....	24
4.8. Imágenes Satelitales	24
4.8.1. Misión Landsat.....	24
4.8.2. Misión Sentinel	25
4.9. Metodología Corine Land Cover	25
5. Marco Legal	28
6. Marco Normativo	30
7. Metodología	32
7.1. Tipo de Estudio	32
7.2. Población de Estudio.....	32
7.3. Unidad de Análisis.....	32
7.4. Muestra	32
7.5. Muestreo	33
7.6. Proceso de recolección de información.....	33
7.7. Fuentes de información.....	33

7.8.	Criterios de selección de la información.....	33
7.9.	Variables	34
7.10.	Operacionalización de Variables.....	34
7.11.	Diccionario de Variables	35
7.12.	Plan de Análisis	37
	Adquisición y preparación de información	37
	Análisis e interpretación de coberturas vegetales.....	37
	Verificación en campo	38
	Control de Calidad	38
	Generación de la capa temática	38
8.	Consideraciones Éticas.....	39
9.	Resultados	41
9.1.	Resultados objetivo 1: Análisis de los cambios ocurridos en la cobertura vegetal en Valle de San Nicolás en el período 2007-2019 a través de sensoramiento remoto.....	41
9.1.1.	Corrección y combinación de bandas.....	42
9.1.2.	Reproyección de Ráster	44
9.1.3.	Área de estudio.....	44
9.1.4.	Elaboración de coberturas.....	45
9.1.5.	Reproyección de coberturas.....	46
9.1.6.	Corrección de geometrías	46
9.1.7.	Disolver capas	46
9.1.8.	Áreas generales de coberturas Valle de San Nicolás.....	46
9.1.9.	Áreas de coberturas municipales.....	46
9.1.10.	Resultados de las coberturas anuales Valles de San Nicolás.....	49
	Año 2007.....	49
	Año 2011.....	49
	Año 2015.....	50
	Año 2019.....	50
	Análisis general de coberturas terrestres Valle de San Nicolás.....	51
	Coberturas en los municipios del Valle de San Nicolás 2007- 2019	53
	San Vicente.....	53
	Guarne	54

Rionegro.....	55
Marinilla.....	56
El Santuario.....	57
El Retiro	58
La Ceja.....	59
La Unión.....	60
El Carmen de Viboral	61
Análisis general de coberturas terrestres municipales.	62
9.2. Resultados objetivo 2: Describir la distribución espacial de casos de dengue por municipios del valle de San Nicolás durante años 2007- 2019.....	63
9.3. Resultado objetivo 3: Explorar la relación entre los casos de dengue ocurridos en los municipios del valle de San Nicolás y el área de suelo de cultivos o pastos bajos para la misma zona.....	66
9.4. Resultado objetivo 4: Explorar la relación entre los casos de dengue ocurridos en los municipios del valle de San Nicolás y el área urbana en los municipios de estudio.	69
10. Discusión.....	72
11. Conclusiones.....	74
12. Recomendaciones	75
13. Referencias Bibliográficas.....	76

Lista de Tablas

Tabla 1. Combinación de Bandas Landsat 7 y Landsat 8.	43
Tabla 2. Consolidado de casos dengue Valle de San Nicolás 2007-2019	64
Tabla 3. Reporte de casos de dengue y coberturas vegetales en el Valle de San Nicolás 2007-2019	66
Tabla 4. Modelo lineal casos de dengue contra Bosque Fragmentado, Bosque Denso, Zonas Urbanizadas, Cultivos Transitorios y Mosaico de Pastos, Cultivos y Espacios Naturales	66
Tabla 5. Modelo lineal de casos de dengue contra Cultivos Transitorios y Mosaico de Pastos, Cultivos y Espacios Naturales	67
Tabla 6. Modelo lineal casos de dengue contra bosque denso.....	68
<i>Tabla 7. Modelo lineal casos de dengue contra Zonas Urbanizadas</i>	70
Tabla 8. Modelo lineal casos de dengue contra Zonas Urbanizadas y (Bosque Denso más Bosque Fragmentado).....	71

Lista de Cuadros

Cuadro 1. Factores asociados a la aparición del Dengue	22
Cuadro 2. Marco legal de usos del suelo	28
Cuadro 3. Marco Legal para la vigilancia, prevención y control de las ETV	29
Cuadro 4. Marco Normativo General.....	30
Cuadro 5. Criterios de selección de la información	33
Cuadro 6. Operacionalización de variables y métodos de análisis.....	34
Cuadro 7. Variables.....	35
Cuadro 8. Marco Legal y Normativo de Aspectos Éticos	39
Cuadro 9. Selección de imágenes satelitales.....	41
Cuadro 10. Zonas protegidas en el Valle de San Nicolás	62
Cuadro 11. Distribución espacial casos de dengue en el Valle de San nicolás 2007-2019.....	65

Lista de Figuras

Figura 1. Ciclo de vida del <i>A. aegypti</i>	21
Figura 2. Ubicación de Antioquia en Colombia.....	26
Figura 3. Municipios del Valle de San Nicolás.....	27
Figura 4. Corrección de bandas	42
Figura 5. Bandas Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI/TIRS	43
Figura 6. Reproyección ráster	44
Figura 7. Cortado de ráster	44
Figura 8. Elaboración de shp coberturas.....	45
Figura 9. Edición de coberturas.....	45
Figura 10. Consulta de áreas por cobertura vegetal a nivel municipal.	47
Figura 11. Capa coberturas municipales.....	47
Figura 12. Esquema general de procesamiento de imágenes Landsat.....	48
Figura 13. Coberturas terrestres Valle de San Nicolás año 2007.....	49
Figura 14. Coberturas terrestres Valle de San Nicolás año 2011.....	50
Figura 15. Coberturas terrestres Valle de San Nicolás año 2015.....	50
Figura 16. Coberturas terrestres Valle de San Nicolás año 2019.....	51
Figura 17. Coberturas terrestres Valles de San Nicolás 2007-2019.....	52
Figura 18. Coberturas terrestres San Vicente 2007-2019	53
Figura 19. Coberturas terrestres municipio de Guarne 2007-2019	54
Figura 20. Coberturas terrestres municipio de Rionegro 2007-2019.....	55
Figura 21. Coberturas terrestres municipio de Marinilla 2007-2019	56
Figura 22. Coberturas terrestres municipio de El Santuario 2007-2019.....	57
Figura 23. Coberturas terrestres municipio de El Retiro 2007-2019.....	58
Figura 24. Coberturas terrestres municipio de La Ceja 2007-2019	59
Figura 25. Coberturas terrestres municipio de La Unión 2007-2019.....	60
Figura 26. Coberturas terrestres municipio de El Carmen de Viboral 2007-2019	61
Figura 27. Modelo lineal de casos de dengue contra bosque denso.....	68
Figura 28. Comportamiento modelo lineal casos de dengue contra bosque fragmentado	69
Figura 29. Comportamiento modelo lineal casos contra Zonas Urbanizadas	70

Lista de Anexos

Anexo 1. Leyenda Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia.....	38
Anexo 2. Imágenes satelitales Landsat 7 y Landsat 8.....	43
Anexo 3. Consolidado imágenes satelitales descargadas.....	43
Anexo 4. Combinaciones de bandas espectrales Landsat 7 y Landsat 8.....	44
Anexo 5. Áreas generales de coberturas terrestres Valle de San Nicolás.....	47
Anexo 6. Reporte casos de dengue Anuario Estadístico de Antioquia 2007.....	64
Anexo 7. Reporte casos de dengue Anuario Estadístico de Antioquia 2011.....	64
Anexo 8. Reporte casos de dengue Anuario Estadístico de Antioquia 2015.....	64
Anexo 9. Reporte casos de dengue Sistema de Vigilancia en Salud Pública.....	64
(SIVIGILA) 2007.....	64
Anexo 10. Reporte casos de dengue Sistema de Vigilancia en Salud Pública	
(SIVIGILA) 2011.....	64
Anexo 11. Reporte casos de dengue Sistema de Vigilancia en Salud Pública	
(SIVIGILA) 2015.....	64
Anexo 12. Reporte casos de dengue Sistema de Vigilancia en Salud Pública	
(SIVIGILA) 2019.....	64

Resumen

Estudios demuestran que el aumento de algunas enfermedades transmitidas por vectores como el dengue están relacionadas con una disminución de la vegetación, cambios en el uso del suelo, la acelerada urbanización y el cambio climático (1,2).

Esta investigación tiene por objetivo explorar la relación entre los cambios de la cobertura vegetal ocurridos en la región del Valle de San Nicolás y los casos de dengue en sus 9 municipios durante el periodo 2007-2019, para ello se realizó un análisis de imágenes satelitales del sensor Landsat en diferentes periodos de tiempo donde fueron procesadas diferentes coberturas de la región mediante el sistema de información geográfica QGis. Los casos de dengue para los 9 municipios se obtuvieron de las bases de datos Anuario Estadístico de Antioquia y Sistema de Vigilancia en Salud Pública.

La región del Valle de San Nicolás tiene un área aproximada de 1830 km² y ha experimentado en los últimos años un aumento importante en las zonas urbanizadas pasando de ocupar 113.8 km² en 2007 a 531.6 km² en 2019, siendo este el tipo de cobertura que más impacto tiene en la aparición de casos de dengue en el valle de San Nicolás con un valor de p del 1.7%. Se destaca el municipio de Rionegro que durante todo el período de análisis concentró el 32.5% de la totalidad de los casos, siendo el año 2019 el período en el que más casos reportó y el año en que mayor desarrollo de zonas urbanizadas tuvo a nivel municipal.

Palabras clave: casos de dengue, coberturas vegetales, sistemas de información geográficos, zonas urbanizadas.

1. Planteamiento del Problema

Actividades como la deforestación y el cambio de uso del suelo han producido alteraciones en la biodiversidad de los ecosistemas que afecta de manera significativa el número y movimiento de los reservorios y vectores e impacta directamente en la incidencia de las enfermedades en humanos (3). Estos cambios de cobertura vegetal y el uso del suelo son considerados además una de las principales causas de deterioro ambiental por la pérdida de vegetación natural, reducción de hábitats y de especies, pérdida de bosques y degradación de suelos (4,5). Entre 1990 y 2010 los bosques disminuyeron 1.4 millones de km², lo que le costó al planeta entre 2 a 5 billones de dólares al año (6), se estima que el 25% de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) durante los últimos 20 años se ocasionaron por cambios en el uso del suelo, especialmente por deforestación como la segunda mayor fuente antropogénica de liberación de este a la atmósfera (7).

La modificación de ecosistemas viene alterando la relación vector-patógeno, en la transmisión de enfermedades como el dengue, el cual se estima tendrá un incremento de más de 40 veces para el año 2100 con relación al año 2010 (3), además de otros problemas sanitarios como la propagación microbiana, incidencia de enfermedades respiratorias, cáncer, estrés térmico y aumento de morbi-mortalidad (8,9), por causa del aumento de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero – GEI – como principal determinante del cambio climático (10). Esto a su vez se ha asociado a las actividades humanas que agravan la intensidad de desastres naturales provocando más refugiados que las guerras y conflictos armados estimados para el año 2006 en al menos 25 millones de personas desplazadas, cifra que se duplicaría para 2010 por la deforestación y calentamiento global (11).

La Organización Mundial de la Salud - OMS - estima que cada año mueren en el mundo 12,6 millones de personas por diversos factores de riesgos ambientales entre ellos el cambio climático (12), del cual se cree que para el año 2030 ocasionará algún problema de salud en aproximadamente 310 millones de personas (13) asociándose además positivamente con el riesgo de contraer alguna de las Enfermedades Transmitidas por Vectores (ETV) (14). Estudios demuestran que el aumento de la ocurrencia del dengue está significativamente relacionado con una disminución de la vegetación (estado y cobertura) especialmente en países tropicales (1), donde existe una relación directa entre estos factores y enfermedades respiratorias tanto en áreas rurales como en ciudades por actividades como la deforestación y las quemas de terrenos para luego ser cultivados (15).

El 24% de la carga mundial de enfermedad se debe a la mala calidad ambiental, incluidos los patrones de uso de la tierra que traen consigo la aparición de algunas ETV (16) que representan más del 17% de todas las enfermedades infecciosas y

provocan cada año más de 1 millón de defunciones alrededor del mundo (3). Cerca del 80% de la población mundial está en riesgo de contraer una ETV (14) y se ha asociado a la deforestación y la caza en bosques como la mayor causa de la aparición de nuevos patógenos zoonóticos (17) causantes de Enfermedades Infecciosas Emergentes (EIE) como el Virus de Inmunodeficiencia Humana (VIH-1) (18), Virus de Inmunodeficiencia de los Simios (VIS) (19), Síndrome Respiratorio Agudo Grave (SARS), Ébola (20) y recientemente el SARS-CoV-2, el cual se cree es consecuencia de la contaminación y la deforestación indiscriminada de bosques (21).

Los cambios en el uso del suelo, la acelerada urbanización, la migración no planificada y el cambio climático (2) han provocado un aumento en los casos de dengue como una de las ETV reemergentes más importantes del mundo actual (22), con una incidencia anual de 390 millones de infecciones (23). Dada la afectación económica derivada del dengue debido a su elevado costo, el ausentismo laboral y escolar (24) hoy es considerada la principal arbovirosis a nivel mundial en términos de morbi-mortalidad pues cerca del 40% de la población mundial corren el riesgo de contraer esta enfermedad al vivir en zonas tropicales y subtropicales (22). Estos cambios sobre la cobertura terrestre han sido estudiados con herramientas de sensoramiento remoto que proporcionan información importante sobre las coberturas terrestres (25) permitiendo acceder a productos cartográficos multitemporales con resolución espacial apta para los análisis ambientales.

Los Sistemas de Información Geográficos (SIG) y sensores remotos se han aplicado a estudios entomológicos de campo asociados al hábitat de los vectores como coberturas de la tierra, tipos de vegetación, cuerpos de agua, temperatura de la superficie, entre otros, permitiendo la utilización de información espacial referenciada para predecir la distribución de ETV como el dengue (26). Estas herramientas han permitido el estudio de coberturas vegetales a través de índices que indican la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación por medio del análisis del espectro electromagnético permitido en diversos sensores remotos ubicados en plataformas espaciales, lo que permite el estudio de algunas ETV en todo el mundo (27).

Los cambios asociados al uso de la tierra junto con el cambio climático favorecen la expansión de vectores creando condiciones idóneas para la aparición de nuevas enfermedades (28). La expansión de la frontera agrícola, pérdida de cobertura vegetal (29) y cambios en las prácticas agrícolas pueden influir en la propagación de ETV (30) y son consecuencias del crecimiento demográfico exponencial el cual se estima para el año 2050 en más de 9.000 millones de personas (29), aportando América Latina para el año 2018 641 millones de personas y un aumento del 50% para 2050 (31). Se estima que durante el periodo 1990 a 2010 en la región se perdieron alrededor de 88 millones de hectáreas (ha) de bosques (9% de la superficie forestal), es decir, un equivalente a 5 veces el área total de Uruguay, principalmente por la deforestación causada por conversión de los bosques a tierras de pastoreo y cultivos (32).

Los diversos tipos de uso y coberturas de la tierra, además de las condiciones climáticas cambiantes influyen en el aumento de la población del vector transmisor del dengue (33), pues transformar los bosques tropicales en áreas de agricultura y urbanización que sigue a la deforestación genera una pérdida de la cubierta forestal que aumenta la temperatura local y disminuye el período de incubación del virus, lo que mejora su transmisión y crea un hábitat para la presencia de mosquitos que además transmiten la fiebre amarilla y el Zika (34,35). En 2019, América reportó más de 3 millones de casos de dengue donde Brasil tuvo el 70% de los casos reportados en la región (alrededor de 2.241.974 casos) y más de la mitad de las muertes por la enfermedad donde además Colombia aportó 268.458 casos y para febrero de 2020 alrededor de 125.000 (36).

En Colombia, enfermedades como el dengue y la malaria, son condiciones endemoepidémicas persistentes que ponen en riesgo de adquirir la enfermedad a alrededor de 40 millones de personas (37). El mosquito transmisor del dengue se encuentra generalmente a menos de 1.300 metros sobre el nivel del mar (msnm), sin embargo, se ha encontrado transmisión hasta los 2.200 msnm, afectando en el país alrededor de 811 municipios que se encuentran a una altitud menor de los 1.800 msnm (38,39). En la semana epidemiológica 40 de 2020, el evento de dengue aporta el 99,5 % de la notificación de Arbovirus a nivel nacional, con 70.577 casos notificados para una incidencia de 263,8 casos por 100.000 habitantes (40). Sumado a esto se tiene que en los tres primeros meses de 2020 fueron arrasadas más de 75 mil hectáreas de bosque en el país, equivalentes a 105 mil canchas de fútbol, siendo Caquetá, Meta y Guaviare los departamentos donde más deforestación se presenta (41).

El departamento de Antioquia ocupó el cuarto lugar en deforestación en el país en el año 2019, lo que sugiere que de continuar con esta deforestación en 2053 no quedará ningún remanente de bosque andino en esta zona (42), además de que históricamente es uno de los departamentos con mayor número de casos de dengue reportados pues se caracteriza por presentar una topografía diversa y gran variedad de climas lo cual favorece principalmente la presencia del dengue y la malaria en todas sus formas siendo estos los eventos de mayor notificación en salud pública (39). Para junio del año 2020 en el departamento se han reportado 1.600 casos de dengue de los cuales 450 se presentan en la ciudad de Medellín (43).

En el oriente antioqueño se viene dando un desarrollo acelerado de la industria, el comercio y la infraestructura de manera no planificada (44), lo que ha generado que el 97% de los bosques estén deforestados, en solo dos años la región perdió cerca de 3.000 ha de bosque (45,46). Por su parte, El Valle de San Nicolás (Altiplano del Oriente) es reconocido como una de las áreas de Antioquia con mayor crecimiento inmobiliario en los últimos años, se concentra allí el 10% del total de la construcción del departamento de Antioquia (47), sin embargo no se ha encontrado información científica que relacione los cambios de cobertura vegetal que ha experimentado esta zona con la aparición de casos de dengue en los 9 municipios que lo conforman

durante el período 2007 a 2019, por lo cual surge la siguiente pregunta de investigación: ***¿Cuál es la relación entre los cambios de la cobertura vegetal ocurridos en la región del Valle de San Nicolás y los casos de dengue en sus 9 municipios durante el periodo 2007-2019?***

2. Objetivos

2.1. General

Explorar la relación entre los cambios de cobertura vegetal ocurridos en la región del Valle de San Nicolás y los casos de dengue en sus 9 municipios durante el periodo 2007-2019.

2.2. Específicos

- Analizar los cambios ocurridos en la cobertura vegetal en Valle de San Nicolás en el período 2007-2019 a través de sensoramiento remoto.
- Describir la distribución espacial de casos de dengue por municipios del valle de San Nicolás durante años 2007- 2019.
- Explorar la relación entre los casos de dengue ocurridos en los municipios del valle de San Nicolás y el área de suelo de cultivos o pastos bajos para la misma zona.
- Explorar la relación entre los casos de dengue ocurridos en los municipios del valle de San Nicolás y el área urbana en los municipios de estudio.

3. Justificación

La investigación de los factores asociados a la aparición de ETV, deben adoptar nuevas tecnologías como por ejemplo la teledetección para permitir una mejor comprensión y mitigación de estas enfermedades (14), por lo que además el monitoreo de los cambios de cobertura vegetal y usos del suelo mediante herramientas como los SIG y el análisis de los datos espaciales son de gran importancia para la salud pública, pues ayudan a comprender las dinámicas espacio-temporales relacionadas con la transmisión de ETV como el dengue y, por lo tanto, contribuyen a su prevención y control (48) dada su alta carga de morbi-mortalidad para las personas, sus familias y las comunidades, así como altos costos y sobrecargas para los sistemas de salud de los países (49).

Grandes masas forestales son indispensables en la mitigación del cambio climático y la modificación del medio natural afecta las dinámicas de transmisión y posible emergencia de agentes infecciosos de allí que su conservación asegure la protección de los servicios ecosistémicos que proveen bienestar y salud de las comunidades próximas a ellos (50,51). Deben considerarse entonces los bosques como mucho más que madera pues el 18% de la población mundial depende de estos como fuente de alimento, energía y vivienda. Alrededor de 2400 millones de personas utilizan la madera para la elaboración de alimentos y 764 millones como fuente de combustible para las actividades del hogar (18,52).

Estudios consideran que frenar la tala y la quema de bosque no solo reducirá la exposición humana a nuevas pandemias, si no que disminuirá la propagación de enfermedades provenientes de la selva tropical como la Malaria, el Zika, el Cólera y el VIH, ya que el crecimiento poblacional y la expansión humana en territorios antes no habitados por humanos ha favorecido la transmisión de agentes extraños provenientes de animales, lo cual concuerda con que de 1407 patógenos humanos el 85% (816) son de origen zoonótico (53,54).

La visión espacial a través de sensores remotos ha permitido la evaluación, control y seguimiento de, por ejemplo, los recursos naturales y las actividades antrópicas, además del análisis y seguimiento de muchos fenómenos como el crecimiento urbano, usos del suelo, infraestructura de transportes, entre otros (55). Uno de los usos más importantes de los sensores remotos es el mapeo y monitoreo de las coberturas terrestres en diferentes momentos a lo largo del tiempo a fin de determinar modificaciones asociadas con propiedades de uso y cobertura del suelo mediante la respuesta espectral de la vegetación u otro tipo de cobertura en un determinado lugar (56).

Esta investigación, por su parte, aporta al reto de construir conocimiento mediante un acercamiento al tema de cómo las alteraciones en los ecosistemas a través de los cambios de coberturas vegetales y usos del suelo están relacionándose con la salud de las poblaciones y específicamente con la aparición de casos de dengue en

la región del Valle de San Nicolás, para servir como insumo a investigaciones posteriores y ser además una orientación para los tomadores de decisiones en pro de la salud de la población y la conservación de ecosistemas estratégicos como por ejemplo los bosques.

4. Marco Teórico

Los estudios relacionados con los cambios en la cobertura vegetal asociados al uso del suelo y su variación son importantes en la investigación ambiental actual por su aporte a otros estudios de tipo ambiental, ecológico, económico, social y de planificación territorial usándose como fuente de información para diagnósticos geográficos en la toma de decisiones (57,58). Sin embargo, se ha descrito el potencial que tienen las herramientas de SIG y sensores remotos para estudiar la distribución de especies de vectores de importancia en salud pública, herramientas que los investigadores han incorporado cada vez más a los diferentes estudios que desarrollan sobre vectores de malaria, dengue y Chagas entre otras ETV (26).

En Salud Pública, los SIG son herramientas importantes ya que entregan información ambiental que pueden ser combinadas con datos demográficos (edad, sexo, distribución, etc.), con datos de salud (tipos de enfermedades, incidencias, prevalencia, características clínicas o patológicas, etc.), características del medio natural (clima, altitud, precipitación, etc.) (59). La cartografía permite la organización, análisis y presentación de información que soporta la teoría de que los eventos en salud se relacionan con variables socioeconómicas, ambientales y geográficas, además de condiciones ambientales y actividades humanas como el uso del suelo, la explotación forestal y las actividades agropecuarias que juegan un papel fundamental en la distribución espacial de las ETV (60).

A continuación, se relacionan algunos conceptos en los cuales se enmarca este proyecto y que se hacen necesarios para comprender mejor el tema de investigación.

4.1. Cobertura Vegetal

Hace parte de un concepto más amplio definido como cobertura de la tierra-terreno el cual se refiere a la cobertura (bio) física que se observa sobre la superficie terrestre y del cual hace parte la vegetación, los elementos antrópicos existentes y otras superficies como afloramientos rocosos y cuerpos de agua (61).

La cobertura vegetal es considerada como la capa de vegetación natural que incluye una amplia gama de biomasa con diferentes características físicas y ambientales (5) como los bosques, que proveen al hombre servicios ambientales y satisfacen sus necesidades tales como despensa de alimentos, agua dulce, medicinas, materias primas, calidad de aire, regulación del clima, control de plagas y enfermedades, mitigación de catástrofes naturales, entre otras (62). Dichos elementos que cubren la superficie terrestre de origen natural o cultural son susceptibles de ser observados y medidos mediante fotografías aéreas, imágenes de satélite u otros sensores remotos (63).

A nivel global diferentes programas protegen este recurso como el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), REDD + (Reducción de Emisiones derivadas de la Deforestación y la Degradación de los bosques) como un marco respaldado por las Naciones Unidas para frenar el cambio climático al detener la destrucción de los bosques y RAN (Red de Acción de la selva tropical) como una de las organizaciones más grandes del mundo, dedicada exclusivamente a proteger los bosques lluviosos del mundo (62).

Para este proyecto se tomará como referencia el concepto de cobertura vegetal definida entonces como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomásas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales (64), la importancia de su estudio radica en que es considerada en el mundo como una de las trece variables terrestres esenciales para el monitoreo del clima pues un cambio en esta debido a un cierto tipo de uso del suelo es capaz de cambiar desde un nivel local hasta un nivel regional aspectos como: captación de agua en los suelos, localización de especies vegetales y animales, regímenes de precipitación y temperatura (65).

4.2. Usos del suelo

Es un concepto relacionado con las intervenciones humanas en la naturaleza, en un sentido amplio se refiere a las actividades productivas establecidas por el hombre en un determinado territorio para satisfacer diferentes necesidades donde se mezclan factores naturales y culturales (44). El uso del suelo es el resultado de las actividades socioeconómicas que se desarrollan (o desarrollaron) sobre una cobertura de la tierra en la cual la aparición de recursos naturales ha generado bienes y servicios (66) , algunos ejemplos de usos del suelo entre otros son los asentamientos urbanos, zonificación de reservas territoriales, centros de producción, complejos turísticos, centros agrícolas y áreas protegidas (67), además la FAO hace referencia a que los usos del suelo son las acciones, actividades e intervenciones que realizan las personas sobre un determinado tipo de superficie para producir, modificarla o mantenerla.

Para Colombia la normatividad establece la autonomía de los municipios y distritos para el ordenamiento de su territorio y la definición de los usos adecuados del suelo según la clasificación de los mismos en suelo urbano, suelo de expansión urbana, suelo rural, suelo suburbano y suelo de protección; cada una de estas categorías define qué actividades se pueden realizar y cuáles están prohibidas según sus características (68).

4.3. Enfermedades Transmitidas por Vectores (ETV)

Los vectores son animales que transmiten patógenos, entre ellos parásitos, de una persona (o animal) infectada a otra y ocasionan enfermedades graves en el ser humano. Las ETV son todas aquellas enfermedades que se transmiten por medio de un hospedero intermedio al que llamamos vector, el cual usualmente es un insecto, estas enfermedades son más frecuentes en zonas tropicales y subtropicales y en lugares con problemas de acceso al agua potable y al saneamiento (3,69). Dentro de las ETV, podemos encontrar las enfermedades transmitidas por mosquitos del género *Aedes* (dengue, Chikungunya y Zika) las cuales se consideran un problema de salud pública mundial, por su capacidad de emerger donde el vector está presente y afectar en poco tiempo a un alto porcentaje de la población (28).

4.3.1. Dengue

Es una infección vírica que se transmite a los seres humanos por la picadura de mosquitos hembra de la especie *Aedes aegypti* y en menor grado *Aedes albopictus*, que además, transmiten la fiebre Chikungunya, la Fiebre Amarilla y la infección por el virus de Zika (70). Algunos aspectos de esta ETV se relacionan a continuación.

Biología del *Aedes aegypti*

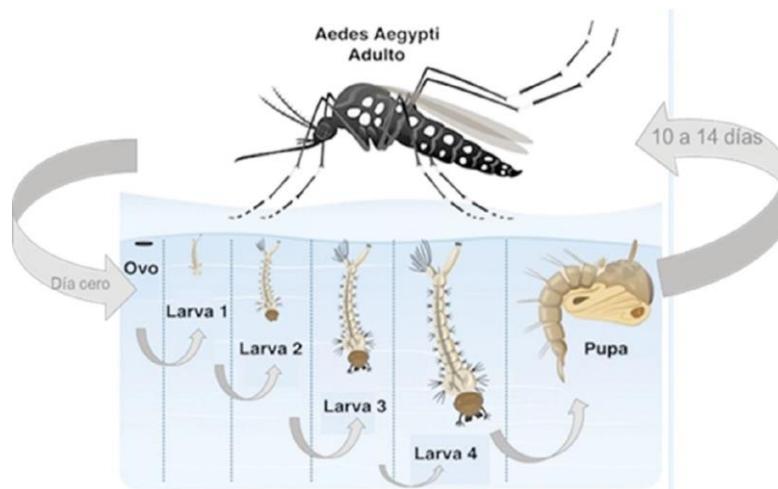
El *Aedes aegypti* es un mosquito doméstico o peridoméstico de metamorfosis completa (holometabolía) (ver figura 1). Durante su desarrollo pasan por los estados de huevo, larva, pupa y adulto. En su primer estado la hembra pone sus huevos en depósitos de agua limpia o semi-limpia (24), estos miden alrededor de 1 milímetro de longitud, con forma de cigarro, son de color blanco pero muy rápidamente adquieren un color negro brillante. Son fecundados durante la postura y su desarrollo embrionario se completa en 48 horas en condiciones ambientales óptimas. Eclosionan en un lapso de 2 a 3 días.

Cuando las larvas emergen inician un ciclo de 4 estadios larvales, siendo exclusivamente acuáticas, este es el período de mayor alimentación y crecimiento. Tienen cabeza y tórax ovoides y abdomen de 9 segmentos. Son fotosensibles, no resisten temperaturas inferiores a 10°C y superiores a 45°C. Su desarrollo larval depende además de la disponibilidad de alimentos y la densidad de larvas en el recipiente. Esta fase hasta la pupación puede durar de 5 a 14 días (24).

En la tercera fase, las pupas no se alimentan, permanecen en un estado de reposo hasta su completo desarrollo anatómico-fisiológico, sin embargo, reaccionan a estímulos externos. Permanecen flotando en la superficie del agua. Esta fase dura de 1 a 3 días en condiciones favorables.

Finalmente, el insecto adulto emerge de la pupa y permanece en reposo para endurecer su exoesqueleto y alas, luego de 24 horas puede aparearse iniciando su etapa reproductora. Los mosquitos hembras son los únicos que succionan sangre, necesaria como fuente de proteína para el desarrollo de los huevos (cada hembra puede poner en cada oviposición, aproximadamente 200) (71).

Figura 1. Ciclo de vida del *Aedes aegypti*



Tomada de: Pando, V. El mosquito *Aedes aegypti*, vector principal del Dengue y otros arbovirus. La Unión de Morelos. 2018 jun 18 [internet]. [Consultado 2021 02 20]. Disponible en: <https://www.launion.com.mx/blogs/ciencia/noticias/126118-el-mosquito-aedes-aegypti-vector-principal-del-dengue-y-otros-arbovirus.html>

Epidemiología del Dengue

Para que en una ciudad, región o país se produzca transmisión de la enfermedad tienen que estar presente de forma simultánea: el virus, el vector y el huésped susceptible (24), tras un periodo de incubación del virus que dura entre 4 y 10 días, un mosquito infectado puede transmitir el agente patógeno durante toda la vida. Tras la aparición de los primeros síntomas, las personas infectadas con el virus pueden transmitir la infección (durante 4 o 5 días; 12 días como máximo) a los mosquitos *Aedes* constituyéndose como reservorio de la enfermedad que está muy extendida en los trópicos, con variaciones locales en el riesgo que dependen en gran medida de las precipitaciones, la temperatura y la urbanización rápida sin planificar; históricamente el dengue se ha presentado en las poblaciones urbanas y periurbanas, donde la gran densidad de la población facilita la transmisión, sin embargo, la aparición de brotes recientes, como se observó en Camboya en 2007, sugiere que ahora están ocurriendo en áreas rurales (38,70).

Cuadro clínico de la enfermedad del Dengue

Usualmente la primera manifestación clínica de la enfermedad es la fiebre de intensidad variable que se asocia a cefalea y vómitos, así como dolores osteomioarticulares con gran malestar general, sarpullidos, hemorragia mucosa, letargo, inquietud y agrandamiento del hígado, que es el cuadro de “dengue clásico” mejor llamado fiebre dengue (FD). La fiebre puede durar de 2 a 7 días, además puede dolor abdominal y diarreas Para el caso del dengue grave (DG), además se define como dengue con cualquiera de los siguientes síntomas: extravasación grave del plasma que cause *shock* o acumulación de líquido con disnea; hemorragia grave; o deterioro grave de los órganos, compromiso de conciencia o insuficiencia cardiaca (24,72).

Factores determinantes en la aparición del Dengue

Teniendo en cuenta que es una enfermedad multicausal, en el cuadro 1, podemos clasificar algunos de los factores relacionados con su origen.

Cuadro 1. Factores asociados a la aparición del Dengue

Factor determinante	Clasificación	Ámbito de aplicación
Macrodeterminantes	Geográficos	Ubicación geográfica (latitud y altitud) que determina el clima (temperatura, pluviosidad y humedad relativa).
	Socioeconómicos	Creciente urbanización no planificada y densidad poblacional de moderada a alta. Cerca del 80% de la población en Colombia vive en las cabeceras urbanas. Suministro de agua potable deficiente (almacenamiento inadecuado de la misma como criadero potencial del vector). Recolección de residuos sólidos inadecuada o inexistente. Condiciones, modos y estilos de vida de la población, determinan la cantidad de personas expuestas a las picaduras de los mosquitos.
	Culturales	Costumbres de almacenamiento de agua Considerar que la responsabilidad del control de la enfermedad recae únicamente en el Estado. Considerar la fumigación como único método efectivo en el control de la enfermedad.
	Políticos	Débil capacidad de dar una respuesta técnica operativa para la detección y atención oportuna de la transmisión epidémica y la sostenibilidad de las acciones regulares de promoción, prevención y control de la enfermedad. Trabajo fragmentado y desarticulado con otros sectores y la comunidad. Dificultades de cobertura y acceso oportuno a los sistemas de salud.
Microdeterminantes	Factores individuales del Huésped	Edad, sexo, raza, ocupación, conductas individuales, familiares y comunitarias, estado inmunológico determinado por infecciones previas con alguno de los serotipos del virus.

Vector transmisor de la enfermedad	La transmisión de esta enfermedad en el país es predominantemente urbana, aunque se han venido registrando infestaciones en las áreas rurales.
Serotipos virales	El virus del dengue es un arbovirus (virus transmitido por vector artrópodo) perteneciente a la familia <i>Flaviviridae</i> . Se han demostrado cuatro serotipos diferentes del virus (DENV-1, DENV-2, DENV-3 y DENV-4). En Colombia hay circulación simultánea de los cuatro serotipos.

Adaptada de: Padilla J, Rojas D, Sáenz-Gómez R. Dengue en Colombia. Epidemiología de la reemergencia a la hiperpandemia [Internet]. 2012. 281 p. Disponible en: [https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/INV/Dengue en Colombia.pdf](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/INV/Dengue%20en%20Colombia.pdf)

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Un SIG es un conjunto manual o computarizado de procedimientos usados para almacenar y manipular datos georreferenciados cuyo resultado sería un mapa (73), sin embargo según el National Center for Geographic Information Analysis, un SIG es un sistema compuesto por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelar y representar datos georreferenciados para resolver problemas de gestión y planificación (74).

Se constituye en una disciplina compleja que se nutre de diversas fuentes desarrollada debido al creciente interés por la información geográfica y el nacimiento de la era informática. Su primera utilización formal se da en Canadá en el Departamento Federal de Energía y Recursos bajo el nombre de Canadian Geographical Information Systems (CGIS) desarrollado por Roger Tomlinson considerado el “padre de los SIG”, quien la utilizó en el manejo de los datos del inventario geográfico canadiense y su análisis para la gestión del territorio rural (75). Los SIG considerados una buena herramienta de evaluación y toma de decisiones debido a la capacidad de manejar integradamente la información espacial de manera rápida y eficiente, permitir a los usuarios crear consultas interactivas, integrar, analizar y representar información geográfica asociada a un territorio conectando mapas con bases de datos (73).

Han sido de gran utilidad en la representación de enfermedades de importancia para la Salud Pública y la Epidemiología. El uso de las herramientas informáticas, la capacitación de profesionales en el uso de herramientas de análisis geográficos se han dado para fortalecer la capacidad en salud pública, apoyar la vigilancia y control, además de facilitar la gestión de enfermedades de transmisión vectorial en entornos con recursos escasos (76).

En Latinoamérica se han usado por ejemplo para realizar estudios espaciales de la distribución de la malaria, dengue y tuberculosis y en Colombia para enfermedades tropicales como el dengue y la malaria, además de su uso en los últimos años para describir las tasas de homicidios ocurridos en las ciudades (77).

Georreferenciación Espacial

Es la técnica de posicionamiento espacial de un objeto en una localización geográfica única y bien definida en un sistema de coordenadas y datum específicos. Se da dentro de los SIG tanto para objetos ráster (imágenes de mapa de píxeles) como para objetos vectoriales (puntos, líneas, polilíneas y polígonos que representan objetos físicos). Es un aspecto fundamental en el análisis de datos geospaciales, pues es la base para la correcta localización de la información de mapa y, por ende, de la adecuada fusión y comparación de datos procedentes de diferentes sensores en diferentes localizaciones espaciales y temporales (78), para este caso Colombia cuenta con su propio modelo de coordenadas y georreferenciación llamado MAGNA-SIRGAS, el cual garantiza la compatibilidad de las coordenadas colombianas con las técnicas espaciales de posicionamiento (79).

Percepción Remota

También llamada detección remota o teledetección, es la ciencia y arte de obtener información de un objeto analizando los datos adquiridos mediante algún dispositivo (generalmente sensores remotos como instrumentos para la captura de información a distancia) que no están en contacto físico con dicho objeto por ejemplo las fotografías aéreas e imágenes satelitales (80), se considera entonces como el proceso de adquisición de información sobre un objeto, área o fenómeno a distancia (81). Entre sus ventajas se encuentra la ampliación de la capacidad de observación para obtener datos sobre un fenómeno con dimensión espacial (73), sumado a esto su aplicación clásica la constituye la cartografía de los usos de la tierra (79), además de la identificación de peligros naturales en cuanto a la vulnerabilidad de áreas, monitoreo de eventos, magnitud y extensión de desastres como inundaciones, huracanes, terremotos, erupciones volcánicas y peligros asociados (82).

Imágenes Satelitales

Son la representación visual de la información capturada por un sensor de un satélite artificial mediante la captación de la radiación electromagnética (REM) emitida o reflejada por un cuerpo desde la tierra que posteriormente se transmite a estaciones terrenas para su visualización, procesamiento y análisis. Existen diferentes tipos dependiendo del tipo de sensor, la finalidad de la captura, la resolución espacial y la información espectral que poseen (longitudes de onda en infrarrojo y ultravioleta invisibles al ojo humano (83).

4.5.1. Misión Landsat

Es un programa que contiene una serie de misiones de observación de la tierra por satélite gestionadas conjuntamente por la Administración Nacional de Aeronáutica

y el Espacio (NASA) y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), inició en 1972 y es la más larga de la historia, continúa registrando los cambios en la superficie terrestre desde el espacio (84). El sensor Landsat, está compuesto por 7 bandas multiespectrales que van desde niveles visibles hasta el infrarrojo medio, con una resolución de 30 metros, en la mayoría de ellas. En las imágenes satelitales, el píxel (unidad mínima homogénea en color que forma parte de una imagen digital), tienen un tamaño fijo y se corresponden a un área concreta de terreno, por lo cual son una representación a escala de un sitio real (83).

4.5.2. Misión Sentinel

La Agencia Espacial Europea (ESA), a través del programa Copernicus, posee la constelación de satélites de observación de la Tierra diseñado para proporcionar información precisa y actualizada, para mejorar la gestión del medio ambiente, comprender y mitigar los efectos del cambio climático y garantizar la seguridad ciudadana (85). Para alcanzar estos objetivos se diseñaron una familia de misiones denominadas Sentinel, cada una de ellas se compone de 2 satélites para cumplir con los requisitos de revisión y cobertura, además transportan las tecnologías más avanzadas para la observación de la Tierra, como los instrumentos radar o multiespectrales que permitirán monitorizar cualquier cambio en el terreno, en los océanos o en la atmósfera (86).

Metodología Corine Land Cover

Fue un programa promovido por la Comisión Europea bajo el nombre de CORINE (Coordination of information on the environment) cuyo propósito fue el desarrollo de un inventario de las coberturas de la tierra, con el fin de servir como soporte a la toma de decisiones en políticas relacionadas con el medio ambiente y el ordenamiento territorial (87).

Para Colombia, esta metodología se ha utilizado desde el año 2004 cuando se inició el proyecto de su adaptación a las condiciones del país y donde participaron el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena (CORMAGDALENA) sobre el área de jurisdicción de esta última (88). La base de datos de Corine Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite obtenidas de sensores remotos para la construcción de mapas de cobertura a escala 1:100.000 (66).

5. Marco Geográfico

La presente investigación se desarrolla en el Departamento de Antioquia, en la subregión Oriente en la zona denominada Valles de San Nicolás (Altiplano del Oriente) el cual está conformado por 9 municipios: Rionegro, Guarne, El Carmen de Viboral, El Retiro, El Santuario, Marinilla, La Ceja, La Unión, y San Vicente.

Antioquia es uno de los 32 Departamentos de la República de Colombia localizado en la zona noroeste del país y sus territorios hacen parte de las regiones Andina y Caribe como se observa en la figura 2. Cuenta con una superficie 63.612 Km², lo que representa el 5.6% del territorio nacional. Su capital es la ciudad de Medellín y está dividido políticamente en 125 municipios, este a su vez está dividido en 9 subregiones correspondientes al Valle de Aburrá, Oriente, Occidente, Norte, Nordeste, Bajo Cauca, Magdalena Medio, Suroeste y Urabá.

Figura 2. Ubicación de Antioquia en Colombia



Tomada de Antioquia y Antioquia. Disponible en: <https://furibe.com/antioquia-y-antioquia/>

La Subregión Oriente comprende 7.021 km², representados en 23 municipios que se agrupan en cuatro Subregiones: Altiplano, Embalses, Bosques y Páramos. Es considerada a nivel nacional y departamental como una zona geoestratégica, por ser el nodo del sistema eléctrico y energético del sur-occidente colombiano, con seis embalses y cinco centrales que generan el 29% de la energía nacional y el 73% del total departamental, además por su gran desarrollo industrial y de infraestructura de servicios, al igual que su conectividad vial con diferentes puntos del país (89).

Es reconocida como la “ruta verde de Antioquia” con atractivos turísticos que la hacen importante en cuanto a la recreación, el ocio y el esparcimiento. La economía de la región en su mayoría se encuentra en el sector de servicios, también el sector agrícola donde se constituye como una despensa importante en materia de suministro de hortalizas, frutas, productos lácteos, flores, café, caña, entre otros productos factibles de exportación (90). Para el año 2015 era la segunda subregión más poblada del departamento de Antioquia después del Valle de Aburrá, con un aproximado de 582.352 habitantes, de los cuales 335.682 se encontraban en las cabeceras y 246.670 en las áreas rurales (91).

Por su parte la región del Valle de San Nicolás tiene un área aproximada de 1.830 km², y altitudes que varían entre los 1900 y los 2600 metros sobre el nivel del mar. En las últimas décadas ha tenido grandes transformaciones producto de procesos de industrialización, urbanización, instalación de fincas de recreo y ubicación de centros comerciales, que fueron cambiando la vocación campesina de muchas regiones, en la figura 3 se relaciona la zona de estudio.

Figura 3. Municipios del Valle de San Nicolás



Fuente. Babosas en cultivos del Valle de San Nicolás (cercano oriente antioqueño). Disponible en: <http://www.bioquirama.com/pdf/Babosas-cultivos-valle-SN.pdf>

5. Marco Legal

Cuadro 2. Marco legal de usos del suelo

Norma	Descripción	Aplicación
Decreto 2811 de 1974	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.	Título VII. Uso adecuado de los suelos
Decreto 2857 de 1981	Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-Ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas y se dictan otras disposiciones	Los suelos rurales deben ser zonificados y manejados según el uso que se les dé.
Constitución Política de Colombia de 1991		Art. 80 la planificación, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales Art. 82 regulación del uso del suelo por parte de las entidades públicas Art. 313 Corresponde a los Concejos Municipales regular los usos del suelo Art. 334 la dirección general de la economía estará a cargo del Estado el cual intervendrá por mandato de la ley en el uso del suelo
Ley 388 de 1997	Ley de Desarrollo Territorial	Los municipios deben realizar un Plan de Ordenamiento Territorial donde se oriente y se administre el desarrollo físico del territorio y la utilización del suelo
Ley 1454 de 2011	Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial	Normas orgánicas para la organización político administrativa del territorio colombiano, enmarca el ejercicio de la actividad legislativa en cuanto a la organización político administrativa del Estado en el territorio, establece los principios rectores del ordenamiento, define el marco institucional e instrumentos para el desarrollo territorial, define competencias en materia de ordenamiento territorial entre la Nación, las entidades territoriales y las áreas metropolitanas.

Adaptado de: Red por la justicia ambiental en Colombia [internet]. [Consultado 2020 08 20]. Disponible en: <https://justiciaambientalcolombia.org/herramientas-juridicas/suelos/>

Cuadro 3. Marco Legal para la vigilancia, prevención y control de las ETV

Norma	Descripción	Aplicación
Ley 9 de 1979	Código Sanitario Nacional Título VIII: Vigilancia y control epidemiológico Art. 478-490	De la información epidemiológica De los laboratorios y sistema de referencia De la prevención y control epidemiológicos
Constitución Política de Colombia	Artículo 49	La atención de la salud y el saneamiento ambiental son servicios públicos a cargo del Estado. Se garantiza a todas las personas el acceso a los servicios de promoción, protección y recuperación de la salud.
Decreto 3518 de 2006	Sistema de Vigilancia en Salud Pública (SIVIGILA)	Por el cual se crea y reglamenta el Sistema de Vigilancia en Salud Pública y se dictan otras disposiciones.
Resolución 2257 de 2011		Protocolos y Guías de la Vigilancia en Salud Pública, las Guías de Atención Clínica y las Guías de Vigilancia Entomológica y Control para las Enfermedades Transmitidas por Vectores
Ley 1751 de 2015		Establece la salud como un derecho fundamental
Ley 1753 de 2015	Artículo 65	Define la política de atención integral en salud

Adaptado de: Ministerio de Salud [internet]. [Consultado 2020 09 09]. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/PAI/Lineamiento-programa-pyp-control-enfermedades-transmitidas-vectores-2017.pdf>

6. Marco Normativo

Cuadro 4. Marco Normativo General

Norma	Descripción	Aplicación
Proyecto de ley de Tierras y Desarrollo Rural	Desarrollo rural con enfoque territorial (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural)	Lineamientos para el desarrollo de la agricultura en el país
Documento CONPES 3242 de 2003.	Servicios ambientales y mitigación del cambio climático para la incursión en el mercado de reducciones verificables de GEI.	Política de venta de servicios ambientales Oferta de reducciones de emisiones verificadas Coordinación, seguimiento y evaluación
Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE). 2012	Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (Gibse)	Mantenimiento y mejora de la resiliencia de los sistemas socioecológicos, a escalas nacional, regional, local y transfronteriza.
Política Nacional para la Gestión Integral Ambiental del Suelo (GIAS)	Gestión Integral Ambiental del Suelo	Conservación y uso sostenible del suelo como elemento fundamental de los ciclos del agua, del aire y de los nutrientes e indispensable para la preservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos.
Objetivos de Desarrollo Sostenible	06: Agua limpia y saneamiento 15: Vida de Ecosistemas Terrestres	Escasez del agua a consecuencia del cambio climático, salud de las poblaciones Importancia de los bosques en la lucha contra el cambio climático y la protección de la biodiversidad.
Proyecto de respuesta mundial para el control de vectores 2017-2030	Organización Mundial de la Salud	Un mundo libre del sufrimiento humano que suponen las enfermedades transmitidas por vectores para reducir la carga y la amenaza de las enfermedades de transmisión vectorial a través de un control de vectores eficaz, sostenible y adaptada a las circunstancias locales.
Plan Decenal de Salud Pública PDSP, 2012-2021. “La salud en Colombia la construyes tu”	Vida saludable y Enfermedades Transmisibles	Enfermedades transmitidas por vectores (Dengue en población urbana y Paludismo en población rural, y en menor escala Leishmaniasis)

Norma	Descripción	Aplicación
Plan Estratégico para las Enfermedades Transmitidas por Vectores	Lineamiento táctico y operativo de la Estrategia de Gestión Integrada para las Enfermedades Transmitidas por Vectores (Egi-Etv) a Nivel Territorial	
Protocolo de Vigilancia en Salud Pública	Dengue: Código 210- 220-580	Objetivos específicos, definiciones operativas de caso, fuentes de datos, recolección y procesamiento, análisis de información, orientación de la acción, comunicación del riesgo.

Adaptado de: Normatividad Ambiental y Sanitaria [internet]. [Consultado 2020 10 15]. Disponible en: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/politica/normativ/normativ.htm

7. Metodología

7.1. Tipo de Estudio

El proyecto consiste en un estudio de tipo ecológico de nivel exploratorio, en este tipo de estudios se observa la asociación entre una exposición y un resultado a nivel de grupos y no de manera individual, en epidemiología se les denomina estudios exploratorios o generadores de hipótesis ya que se realiza una comparación de las tasas de enfermedad entre muchas regiones continuas durante un mismo periodo, o se compara la frecuencia de la enfermedad a través del tiempo en una misma región. En ninguno de los dos casos se hace una comparación formal con otras variables de los grupos, y el único propósito es buscar patrones espaciales o temporales que podrían sugerir hipótesis sobre las causas (92). Este estudio por su parte pretende establecer la posible relación entre los cambios de cobertura vegetal en una zona geográfica determinada y la aparición de casos de dengue en dicha zona durante un periodo de tiempo previamente establecido.

7.2. Población de Estudio

Por ser un tipo de estudio ecológico la población objeto de estudio no son las personas, es el área geográfica correspondiente a los 9 municipios que conforman la región del Valle de San Nicolás.

7.3. Unidad de Análisis

Por ser un tipo de estudio ecológico la unidad de análisis no son las personas, es el área de los 9 municipios que conforman la región del Valle de San Nicolás.

7.4. Muestra

La muestra serán los registros de casos de dengue de la base de datos del SIVIGILA para los 9 municipios de la región del Valle de San Nicolás en los años 2007, 2011, 2015 y 2019, los registros de los casos de dengue del Anuario Estadístico de Antioquia para los 9 municipios en los años 2007, 2011, 2015 y 2019 y las imágenes satelitales del área de estudio para el mismo periodo de tiempo.

7.5. Muestreo

En esta investigación no se llevará a cabo ningún muestreo ya que se utilizará información de fuentes secundarias. Por tratarse de un estudio ecológico se utilizará información de bases de datos secundarias.

7.6. Proceso de recolección de información

En esta investigación no se llevará a cabo procesos de recolección de información ya que se utilizarán bases de datos de fuentes secundarias.

7.7. Fuentes de información

Para este estudio se utilizan datos de fuentes secundarias, correspondientes a los registros de casos de dengue reportados en el SIVIGILA y el Anuario Estadístico de Antioquia para la Región del Valle de San Nicolás en los años 2007, 2011, 2015 y 2019 ; además de las imágenes satelitales consideradas como “imágenes de referencia” provenientes de los sensores remotos Landsat y Sentinel, que se descargan desde el portal web Earth Explorer de la U.S Geological Survey (USGS) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) y Sentinel Hub (<https://www.sentinel-hub.com/>) y que corresponden al mismo periodo de tiempo.

7.8. Criterios de selección de la información

Los criterios de selección de la información establecidos para este estudio se relacionan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Criterios de selección de la información

Tipo de Información	Información	Criterios de selección	Aspectos a revisar
Información Secundaria	Imágenes satelitales de referencia	<ul style="list-style-type: none">✓ Tener una selección de bandas que permiten analizar el espectro electromagnético en ondas de luz en azul, verde, rojo e infrarrojo de cada misión.✓ Corresponder al periodo de análisis 2007, 2011, 2015 y 2019.✓ Tener en cuenta la coincidencia del periodo mensual, es decir, ser tomadas del mismo mes.✓ Porcentaje de nubosidad sobre la imagen no superior al 20% en el área de estudio. En caso de no contar con una imagen que cumpla este criterio de nubosidad se hace uso de otra imagen proveniente del periodo temporal más cercano.	Ubicación del área de estudio Procesamiento y análisis de la información de cobertura vegetal

	Registros de la Base de Datos del SIVIGILA y Anuario Estadístico de Antioquia	✓ Corresponder a los municipios del Valle de San Nicolás ✓ Corresponder al período de interés.	Casos de Dengue reportados
--	-------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------

7.9. Variables

Para este estudio se utilizarán las siguientes variables:

7.9.1. Variable Explicativa (independiente)

Corresponde al área de las coberturas vegetales de los 9 municipios del Valle de San Nicolás durante los años 2007, 2011, 2015 y 2019.

7.9.2. Variable de Respuesta (dependiente)

Corresponde a los casos de dengue presentados en los 9 municipios del Valle de San Nicolás durante los años 2007, 2011, 2015 y 2019.

7.10. Operacionalización de Variables

Las variables y métodos de análisis se relacionan en el cuadro 6.

Cuadro 6. Operacionalización de variables y métodos de análisis.

Objetivo	Variable de desenlace	Variable de cruce (relación)	Método
Analizar los cambios ocurridos en la cobertura vegetal en Valle de San Nicolás en el período 2007-2019 a través de sensoramiento remoto.	Áreas de coberturas vegetales definidas según la metodología CLC.		Clasificación Visual
Describir la distribución espacial de casos de dengue por municipios del valle de San Nicolás durante años 2007- 2019.	Tasa de dengue por municipios	Municipios	Estadística descriptiva
Explorar la relación entre los casos de dengue ocurridos en los municipios del valle de San Nicolás y el área de suelo de cultivos o pastos bajos para la misma zona.	Casos de dengue	Áreas de clasificadas dentro de la categoría de territorios agrícolas.	Modelo de regresión lineal
Explorar la relación entre los casos de dengue ocurridos en los municipios del valle de San Nicolás y el área urbana en los municipios de estudio.	Casos de dengue	Áreas de clasificadas dentro de la categoría de territorios artificializados	Modelo de regresión lineal

7.11. Diccionario de Variables

Para el análisis de coberturas se utilizarán las siguientes variables que se relacionan en el cuadro 7.

Cuadro 7. Variables

Nombre de la variable	Código	Sigla	Tipo	Descripción
Zonas Urbanizadas	1.1	ZU	Cuantitativa continua	Corresponde tanto a zonas rurales como urbanas. Para los análisis se unificaron en ZU
Tejido Urbano Continuo	1.1.1	TUC	Cuantitativa continua	
Tejido Urbano Discontinuo	1.1.2	TUD	Cuantitativa continua	
Aeropuerto	1.2.4	AEROP	Cuantitativa continua	Se localiza en el municipio de Rionegro.
Zonas de Extracción Minera	1.3.1	ZEM	Cuantitativa continua	Corresponden a minas a cielo abierto de Caolín el cual es un material abundante en el municipio de La Unión.
Cultivos Transitorios	2.1	CT	Cuantitativa continua	Dentro de esta categoría podemos encontrar aquellos cultivos como cereales, leguminosos, hortalizas y tubérculos.
Cultivos Confinados	2.2.5	CC	Cuantitativa continua	Se refieren a todos aquellos que se encuentran bajo techo (invernaderos).
Mosaico de Pastos, Cultivos y Espacios Naturales	2.4.3	MPCEN	Cuantitativa continua	Comprenden coberturas donde se combinan pastos, diferentes cultivos y zonas boscosas.
Bosque Denso	3.1.1	BD	Cuantitativa continua	Hace referencia a masas compactas de bosques que no han sido intervenidos.
Bosque Fragmentado	3.1.3	BF	Cuantitativa continua	Son aquellos donde se observa una intervención
Lagunas, Lagos y ciénagas naturales	5.1.2	LL	Cuantitativa continua	Comprenden los cuerpos de agua presentes en el territorio. Para realizar los análisis se unificaron en LL.
Cuerpos de Agua Artificiales	5.1.4	CAA	Cuantitativa continua	

Adaptado de: IDEAM. Mapa de coberturas de la tierra metodología Corine Land Cover Colombia [internet].

[Consultado 2020 11 10]. Disponible en:

http://sig.anla.gov.co:8083/resources/DESCARGA_SIAC/IDEAM/MG_E_CoberturaTierra%202005_2009%20v1.pdf

7.12. Plan de Análisis

Para desarrollar el primer objetivo de la propuesta de investigación que se refiere a analizar los cambios ocurridos en la cobertura vegetal en Valle de San Nicolás en el período 2007-2019 a través de sensoramiento remoto se usó la metodología europea Corine Land Cover (CLC) validada para Colombia en el año 2004. Para esto se aplicaron los siguientes procedimientos:

Adquisición y preparación de información

Para este caso se utilizaron las imágenes satelitales de los sensores remotos Landsat y Sentinel, dada su resolución espacial, temporal y condición de acceso libre teniendo en cuenta los criterios de selección de la información.

Después de obtener estas imágenes de ser necesario se realizaba un proceso de ortocorrección para eliminar las distorsiones geométricas generadas por imperfecciones y ángulo del sensor, variaciones topográficas, y la curvatura de tierra, dicho proceso se realizaba con base al sistema de proyección Marco Referencia Geocéntrico para las Américas (MAGNA-SIRGAS) (93), la cual consiste en la sobreposición de imágenes para ajustar las coordenadas y lograr una imagen con mayor precisión cartográfica.

Se procedió a realizar mediante el uso del SIG una delimitación (poligonal) sobre cada una de las imágenes de referencia para identificar los municipios dentro de área de estudio donde se analizaron las coberturas vegetales con base a la Leyenda de la metodología CLC la cual se relaciona en el Anexo 1, en contraste con las coberturas vegetales observadas y delimitadas en la imagen satelital en los diferentes periodos en los cuales se observó.

Análisis e interpretación de coberturas vegetales

La visualización e interpretación de las imágenes satelitales y la cartografía digital se realizó a través del software QGIS 3.10 como se mencionó anteriormente y siguiendo los lineamientos de la metodología se tomó una escala de 1:25.000 con una unidad mínima de mapeo (UMM) de 25 ha.

Posteriormente se procesó esta cartografía digital en falso color complementada con el método de clasificación visual ubicando unos puntos (semillas) sobre el polígono realizado identificando valores unitarios de cada pixel y describiendo numéricamente las características espectrales de las bandas que distinguen los grupos de píxeles y que pertenecen a una misma clase con lo cual se ayudó a la identificación de un tipo específico de cobertura vegetal mediante la concordancia

de los atributos de cada punto, es decir se identificaron unos puntos donde se tomaron los valores de cada pixel sobre la imagen y luego se agruparon por cada valor para la creación de forma automática del mapa de coberturas (94).

Verificación en campo

No se realizó verificación en campo debido a las limitaciones ocasionadas por la contingencia sanitaria por SARS-CoV-2. Sólo se utilizó la escala que permitía la detección visual de coberturas en la zona de estudio.

Control de Calidad

Se realizó una evaluación sistemática y continua de los productos cartográficos interpretados a fin de revisar, detectar y corregir datos en las imágenes y con ello asegurar la calidad, veracidad y confiabilidad en la información y los resultados obtenidos durante el proceso, para lo cual se revisaron aspectos como el tipo de archivo, sus atributos y su sistema de coordenadas en concordancia con otros archivos dentro de la geodatabase (base de datos geográfica donde se almacenan los archivos relacionados en la metodología y sus análisis y modificaciones correspondientes), se registraron las observaciones correspondientes.

Generación de la capa temática

Se realiza en base a los análisis y la información consignada en los apartados anteriores se elaboró a cartografía temática digital que evidenciaba los resultados de los análisis realizados. Para el desarrollo del objetivo dos, correspondiente a describir la distribución espacial de casos de dengue por municipios del Valle de San Nicolás durante años 2007- 2019, se hizo uso de la estadística descriptiva mediante tablas de frecuencias para representar los casos de dengue ocurridos durante los periodos de interés y luego se ubicaron en un mapa que permitía ver la distribución espacial de los casos.

Para el tercer y cuarto objetivo correspondientes a explorar la relación entre los casos de dengue ocurridos en los municipios del Valle de San Nicolás y el área de suelo de cultivos o pastos bajos para la misma zona y explorar la relación entre los casos de dengue ocurridos en los municipios del valle de San Nicolás y el área urbana en los municipios de estudio, se utilizó un modelo de regresión lineal como método que enfatiza la relación estadística entre dos variables continuas conocidas que para nuestro caso fueron las variables de predicción (coberturas vegetales) y de respuesta (casos de dengue).

8. Consideraciones Éticas

La presente investigación fue desarrollada por la estudiante de Administración de Salud con Énfasis en Gestión Sanitaria y Ambiental Deisy Viviana López Álvarez quien hizo las veces de investigadora y el docente asesor como co-investigador, que a pesar de no pertenecer propiamente al área de la salud, sino al área administrativa de la salud pública y específicamente a la salud ambiental posee el compromiso con el cuidado respetuoso de la vida, la dignidad de las personas a través de la promoción de la integridad humana en sus diferentes dimensiones sin discriminación alguna, y la protección y el cuidado del medio ambiente, respetando además el contexto ambiental, social y cultural donde se desarrolló la investigación.

Para esta investigación no se tuvieron en cuenta los principios establecidos en la Declaración de Helsinki dado que no se trató de una investigación médica en seres humanos, sino de un área geográfica. Sin embargo esta investigación se realizó bajo los principios establecidos en la Resolución N° 8430 de 1993, donde se clasifica dentro de la categoría “*Investigación sin riesgo*”, ya que se hizo con bases de datos secundarias las cuales fueron usadas única y exclusivamente para fines académicos.

A continuación se presenta en el cuadro 8 el Marco Legal y los aspectos éticos.

Cuadro 8. Marco Legal y Normativo de Aspectos Éticos

Norma	Descripción	Aplicación
Declaración de Singapur (2a Conferencia Mundial sobre Integridad en la Investigación)	Declaración sobre la integridad en la investigación	Cualquier investigación debe basarse en los principios de honestidad, responsabilidad en la ejecución de la investigación, cortesía profesional y buena gestión y lleva implícita las siguientes responsabilidades: integridad, cumplimiento de las normas, métodos de investigación, documentación de la investigación, resultados de la investigación, autoría, reconocimientos en las publicaciones, revisión por pares, conflictos de intereses, comunicación pública, denuncia de prácticas irresponsables en la investigación, ambiente para la investigación y consideraciones sociales.
Declaración Bioética de la UNESCO	Cuestiones éticas relacionadas con la medicina, las ciencias de la vida y las tecnologías aplicadas a ellas teniendo en cuenta sus dimensiones sociales, jurídicas y ambientales.	Principios de Dignidad humana y derechos humanos, autonomía y responsabilidad individual, consentimiento, privacidad y confidencialidad, protección al medio

		ambiente, la biosfera y la biodiversidad, comités de ética, entre otros.
Resolución 8430 de 1993	Normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud	Artículo 4. La investigación para la salud comprende el desarrollo de acciones que contribuyan: a) Al conocimiento de los procesos biológicos y psicológicos en los seres humanos b) Al conocimiento de los vínculos entre las causas de enfermedad, la práctica médica y la estructura social d) <i>Al conocimiento y control de los efectos nocivos del ambiente en la salud.</i>
Ley 1164 de 2007	Disposiciones en materia del Talento Humano en Salud.	El talento humano en salud comprende todo el personal que interviene en la promoción, educación, información de la salud, prevención, diagnóstico, tratamiento, rehabilitación y paliación de la enfermedad de todos los habitantes del territorio nacional dentro de la estructura organizacional de la prestación de los servicios de salud.
Ley 1581 de 2012	Disposiciones generales para la protección de datos personales	Complementa la regulación vigente para la protección del derecho fundamental que tienen todas las personas naturales a autorizar la información personal que es almacenada en bases de datos o archivos, así como su posterior actualización y rectificación. Esta ley se aplica a las bases de datos o archivos que contengan datos personales de personas naturales.
Resolución Rectoral 40455 de 2015	Creación del Comité Central de Ética en Investigación de la Universidad de Antioquia (CCEI)	Organismo adscrito a la Vicerrectoría de Investigación, que actúa con autonomía en el cumplimiento de sus funciones, cuyo objeto es velar porque los aspectos éticos de la investigación se reflejen en las normas y prácticas investigativas de la Universidad.

Adaptada de: Gamboa, G. Regulación de la ética de investigación en Colombia [internet]. [[Consultado 2020 11 20]. Disponible en:
https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4VqpAVeLgwgJ:https://www.uchile.cl/documentos/verscion-en-pdf_76826_4_5937.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co

9. Resultados

9.1. Resultados objetivo 1: Análisis de los cambios ocurridos en la cobertura vegetal en Valle de San Nicolás en el período 2007-2019 a través de sensoramiento remoto.

Se realizó búsqueda de imágenes Landsat mediante elaboración de polígono de los municipios del Valle de San Nicolás y selección de la información de las mismas teniendo en cuenta la información del cuadro 9.

Cuadro 9. Selección de imágenes satelitales

Rango de Datos Mes/Día/Año	Satélites de Búsqueda	Criterios Adicionales	# Resultados
Desde: 01/01/2007 Hasta: 12/31/2007 Mes de búsqueda: todos	Landsat 4-5 TM C1 Level-1	Land Cloud Cover: Less than 20% Scene Cloud Cover: Less than 20%	2
	Landsat 7 ETM+ C1 Level-1	Land Cloud Cover: Less than 20% Scene Cloud Cover: Less than 20%	33
	Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1	Land Cloud Cover: Less than 20% Scene Cloud Cover: Less than 20%	0
	Landsat 4-5 TM C1 Level-2	Land Cloud Cover: Less than 20% Scene Cloud Cover: Less than 20%	4
	Landsat 7 ETM+ C1 Level-2	Land Cloud Cover: Less than 20% Scene Cloud Cover: Less than 20%	33
	Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-2	Land Cloud Cover: Less than 20% Scene Cloud Cover: Less than 20%	0
Desde: 01/01/2011 Hasta: 12/31/2011 Mes de búsqueda: todos	Landsat 4-5 TM C1 Level-1	Land Cloud Cover: Less than 20% Scene Cloud Cover: Less than 20%	3
	Landsat 7 ETM+ C1 Level-1	Land Cloud Cover: Less than 20% Scene Cloud Cover: Less than 20%	46
	Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1	Land Cloud Cover: Less than 20% Scene Cloud Cover: Less than 20%	0
	Landsat 4-5 TM C1 Level-2	Land Cloud Cover: Less than 20% Scene Cloud Cover: Less than 20%	3
	Landsat 7 ETM+ C1 Level-2	Land Cloud Cover: Less than 20% Scene Cloud Cover: Less than 20%	46
	Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-2	Land Cloud Cover: Less than 20% Scene Cloud Cover: Less than 20%	0
Desde: 01/01/2015 Hasta: 12/31/2015 Mes de búsqueda: todos	Landsat 4-5 TM C1 Level-1	Land Cloud Cover: Less than 20% Scene Cloud Cover: Less than 20%	0
	Landsat 7 ETM+ C1 Level-1	Land Cloud Cover: Less than 20% Scene Cloud Cover: Less than 20%	46
	Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1	Land Cloud Cover: Less than 20% Scene Cloud Cover: Less than 20%	51

Rango de Datos Mes/Día/Año	Satélites de Búsqueda	Criterios Adicionales	# Resultados
	Landsat 4-5 TM C1 Level-2	Land Cloud Cover: Less than 20% Scene Cloud Cover: Less than 20%	46
	Landsat 7 ETM+ C1 Level-2	Land Cloud Cover: Less than 20% Scene Cloud Cover: Less than 20%	46
	Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-2	Land Cloud Cover: Less than 20% Scene Cloud Cover: Less than 20%	46
Desde: 01/01/2019 Hasta: 12/31/2019	Landsat 7 ETM+ C1 Level-2	Land Cloud Cover: Less than 20% Scene Cloud Cover: Less than 20%	44
Mes de búsqueda: todos	Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1	Land Cloud Cover: Less than 20% Scene Cloud Cover: Less than 20%	46

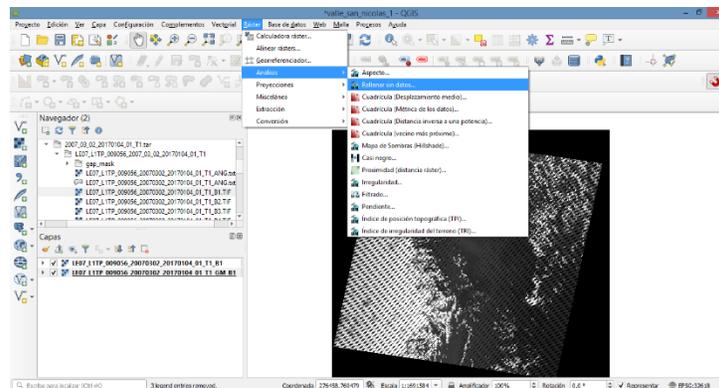
Adaptada de United States Geological Survey (USGS) [Internet]. Disponible en: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Se descargaron 21 imágenes (ver anexo 2) de las cuales se seleccionaron 4 (1 por cada año de análisis), el consolidado se relaciona en el archivo anexo 3. Para la elaboración de coberturas se creó el proyecto valle_san_nicolas_1.qgz en el software QGis en el que se realizaron los siguientes procedimientos:

9.1.1. Corrección y combinación de bandas

Se realizó corrección de Bandas para los años 2007 y 2011 donde se utilizaron las imágenes del sensor Landsat 7 ETM+, del cual fue necesario realizar una corrección de bandas previa a la combinación de las mismas debido a que este desde el año 2002 presentó una falla generando una pérdida de datos que muestra huecos o baneado en forma de líneas paralelas diagonales que cubren la anchura de la imagen (95). Esta corrección se realizó combinando cada banda con su igual en la carpeta gap_mask mediante la herramienta Ráster_Análisis_Rellenar sin datos, como se observa en la figura 4. Este proceso se realizó para cada una de las bandas en cada año, para 2015 y 2018 no fue necesario realizar esta corrección.

Figura 4. Corrección de bandas



Fuente. SIG QGis.

Para determinar las diferentes cubiertas vegetales sobre el área de estudio se realizó la combinación de las bandas multispectrales del sensor Landsat 7 ETM+ (8 bandas) para los años 2007 y 2011 y Landsat 8 OLI/TIRS (11 bandas) para los años 2015 y 2019, teniendo en cuenta la diferencia que existe entre ambos sensores como se observa en la figura 5.

Figura 5. Bandas Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI/TIRS

Landsat 7			Landsat 8		
Banda	Ancho (µm)	Resolución (m)	Banda	Ancho (µm)	Resolución (m)
Band 1 Blue	0.45 – 0.52	30	Band 1 Coastal	0.43 – 0.45	30
Band 2 Green	0.52 – 0.60	30	Band 2 Blue	0.45 – 0.51	30
Band 3 Red	0.63 – 0.69	30	Band 3 Green	0.53 – 0.59	30
Band 4 NIR	0.77 – 0.90	30	Band 4 Red	0.64 – 0.67	30
Band 5 SWIR1	1.55 – 1.75	30	Band 5 NIR	0.85 – 0.88	30
Band 7 SWIR2	2.09 – 2.35	30	Band 6 SWIR1	1.57 – 1.65	30
Band 8 Pan	0.52 – 0.90	15	Band 7 SWIR2	2.11 – 2.29	30
			Band 8 Pan	0.50 – 0.68	15
			Band 9 Cirrus	1.36 – 1.38	30
Band 6 TIR	10.40 – 12.50	30/60	Band 10 TIRS1	10.6 – 11.19	100
			Band 11 TIRS2	11.5 – 12.51	100

Fuente. Cálculo del Índice de Vegetación NDVI de Imágenes Landsat 8 con QGIS. Disponible en: <https://gidahatari.com/ih-es/calculo-del-indice-de-vegetacion-ndvi-de-imagenes-landsat-8-con-qgis>

Dichas bandas se distribuyen en la imagen satelital a través de tres canales: *rojo*, *verde* y *azul* que permiten la identificación de ciertas coberturas. Para estos análisis se realizaron las combinaciones de la tabla 1. Los Shapefiles (shp) de las combinaciones realizadas se encuentran en el archivo anexo 4.

Tabla 1. Combinación de Bandas Landsat 7 y Landsat 8.

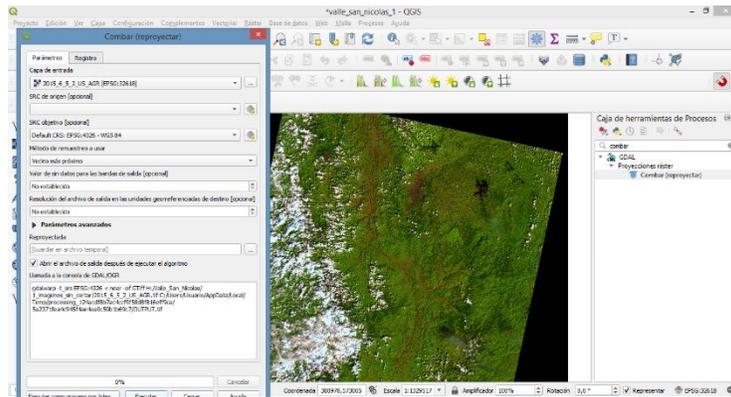
Año	Sensor	Combinación de Bandas	Nombre del Ráster
2007 y 2011	Landsat 7 ETM+	5-4-1	Usos agrícolas
		4-3-2	Infrarrojo
		3-2-1	Color natural
		6-5-3	Falso color
		4-5-1	Vegetación vigorosa
2015 Y 2019	Landsat 8 OLI/TIRS	6-5-2	Usos agrícolas
		5-4-3	Infrarrojo
		4-5-3	Bosques
		4-3-2	Color natural
		5-6-2	Vegetación vigorosa

Adaptado de: Alonso, Diego. Combinación de bandas en imágenes de satélite Landsat y Sentinel [internet]. [Consultado 2020 12 15]. Disponible en: <https://mappinggis.com/2019/05/combinaciones-de-bandas-en-imagenes-de-satelite-landsat-y-sentinel/>

9.1.2. Reproyección de Ráster

Cada archivo ráster resultante de la combinación de bandas se encuentra por defecto en el sistema de referencia WGS84/ UTM Zone 18N EPSG 32618, este fue re proyectado a la proyección geográfica WGS84 - EPSG 4326 - empleado para la representación de la cartografía a nivel mundial. Se utiliza la herramienta *Combar* de QGIS de la librería de GDAL para cada uno de los archivos, como se observa en la figura 6.

Figura 6. Reproyección ráster

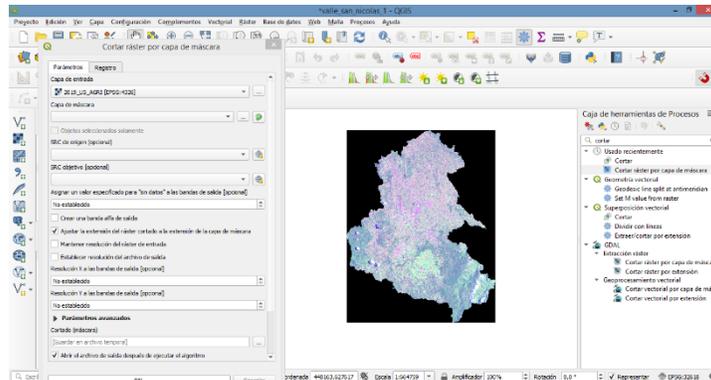


Fuente. SIG QGIS

9.1.3. Área de estudio

El área de análisis es inferior a la imagen satelital por lo que se realizó un corte del ráster usando los límites del valle de San Nicolás como máscara, para esto se usó el proceso *Cortar ráster por capa de máscara*. Esto se hizo para cada uno de los ráster de cada año obteniendo como resultado el area de estudio cortada como se ve en la figura 7.

Figura 7. Cortado de ráster

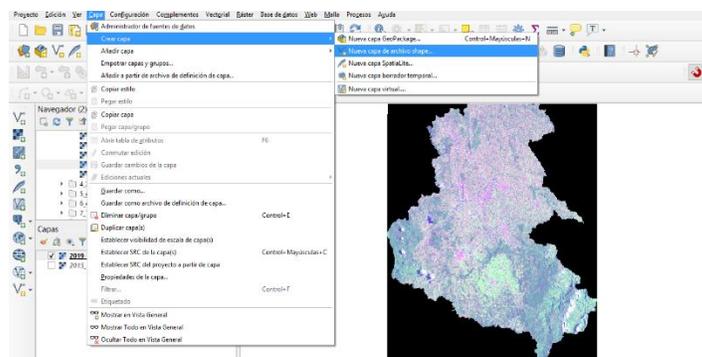


Fuente. SIG QGis

9.1.4. Elaboración de coberturas

Para elaborar los polígonos de las diferentes coberturas se creó una capa con tipo de vector con geometría tipo polígono denominada *coberturas*; en esta se agregaron además los campos: código y coberturas ver figura 8.

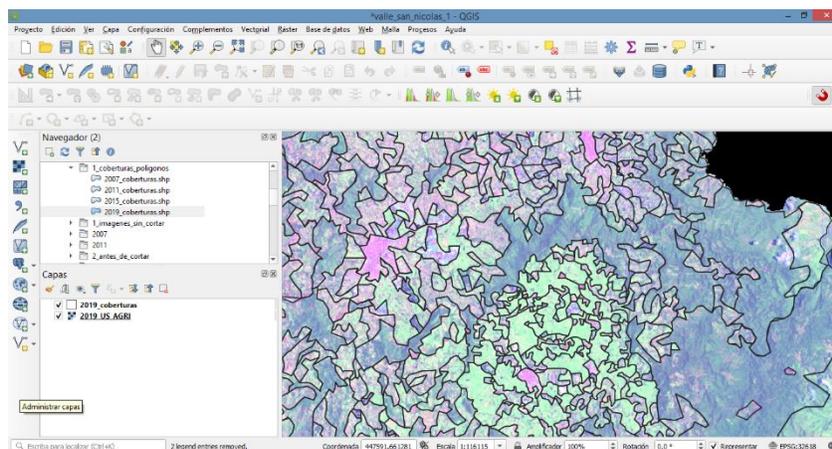
Figura 8. Elaboración de shp coberturas



Fuente. SIG QGis

Para cada año se realizó una superposición de cada ráster de manera que permitiera la identificación visual de las coberturas de interés, luego se empezó la edición en la capa creada y se usó la herramienta de autoensamblado para evitar errores de dibujo. Sobre el ráster se empezó la elaboración de los polígonos sobre las coberturas identificadas, que fueron guardadas colocando manualmente los atributos del objeto espacial elaborado. Se repitió el proceso hasta completar la totalidad del área de estudio por cada año de análisis, como se observa en la figura 9.

Figura 9. Edición de coberturas



Fuente. SIG QGis

9.1.5. Reproyección de coberturas

Dado que la capa de coberturas fue creada con una imagen de la NASA, está en un sistema de referencia en coordenadas WGS84, es decir, coordenadas geográficas; para realizar los cálculos de áreas se realizó la conversión de cada una de las capas de coberturas (4 en total) a un sistema de referencia de coordenadas planas Magna-Sirgas / Colombia Bogotá Zone; no se usó el nuevo Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 de 2020 el cual se reglamentó por el IGAC ya que el SIG no lo tiene por defecto y para evitar problemas con la cartografía se trabajó con un sistema ya validado. Este proceso es necesario dado que los SIG entregan la información de mediciones dependiendo de la proyección de la información analizada, en este caso se requirió información basada en metros y kilómetros, esto se realizó mediante el comando *Reprojectar*.

9.1.6. Corrección de geometrías

Se corrigieron los errores en las geometrías elaboradas en la capa de coberturas para cada año utilizando la herramienta *Fix*, se realizó esta corrección a cada capa elaborada para el estudio.

9.1.7. Disolver capas

Este proceso se realizó con el fin de simplificar los elementos geográficos de la capa de entrada así como los registros de su tabla de atributos, unificando los elementos que presentaron la misma propiedad, para este caso se realizó la nueva agrupación por el código de cada cobertura usando la herramienta *Disolver*.

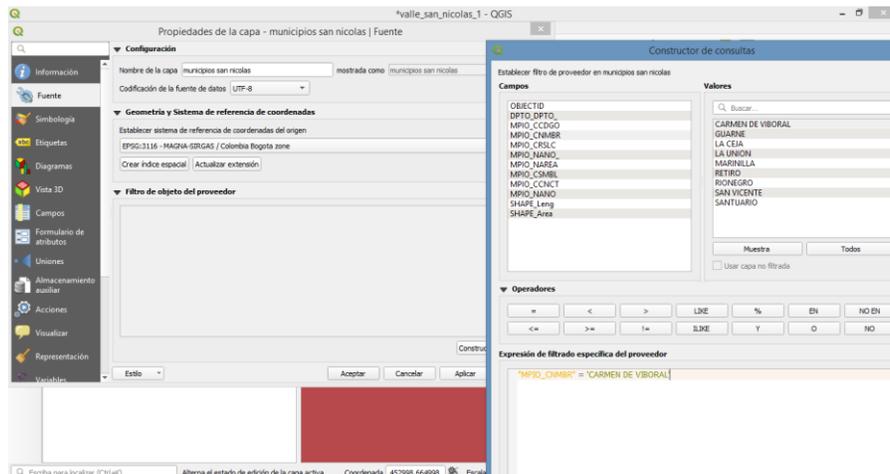
9.1.8. Áreas generales de coberturas Valle de San Nicolás

Para la obtención de las áreas de cada cobertura se hizo uso de la calculadora de campos, en esta se creó un nuevo campo decimal y se usó la fórmula $\$area / 1000000$ para obtener la información en Km². La información de cada tabla de atributos es recopilada en el archivo Excel Anexo 5.

9.1.9. Áreas de coberturas municipales

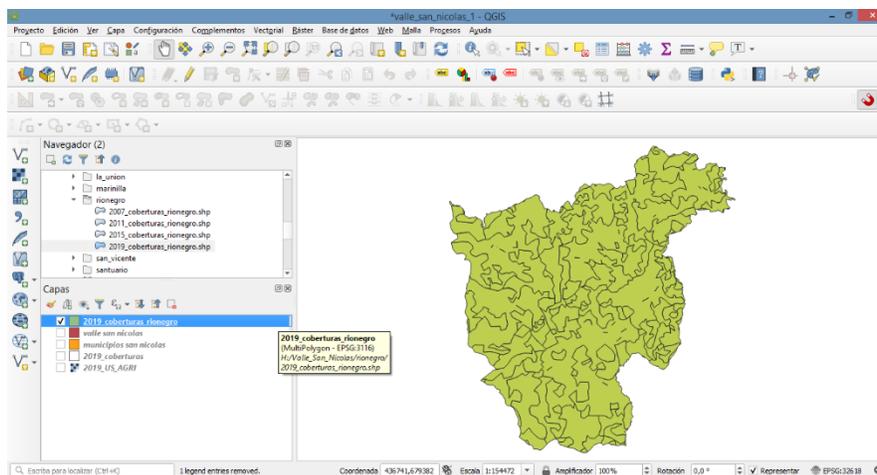
Teniendo en cuenta que la región del Valle de San Nicolás posee 9 municipios se realizó el cálculo del área que tiene cada cobertura a nivel municipal para lo cual se elaboró con anterioridad la capa municipios.shp que se reprojectó a coordenadas planas. Se realizaron además consultas espaciales de cada municipio los que posteriormente sirvieron como capa de superposición para realizar recortes de las coberturas de cada municipio, al resultado se le calculó el área de cada cobertura (ver figura 10 y 11).

Figura 10. Consulta de áreas por cobertura vegetal a nivel municipal.



Fuente. SIG QGIS

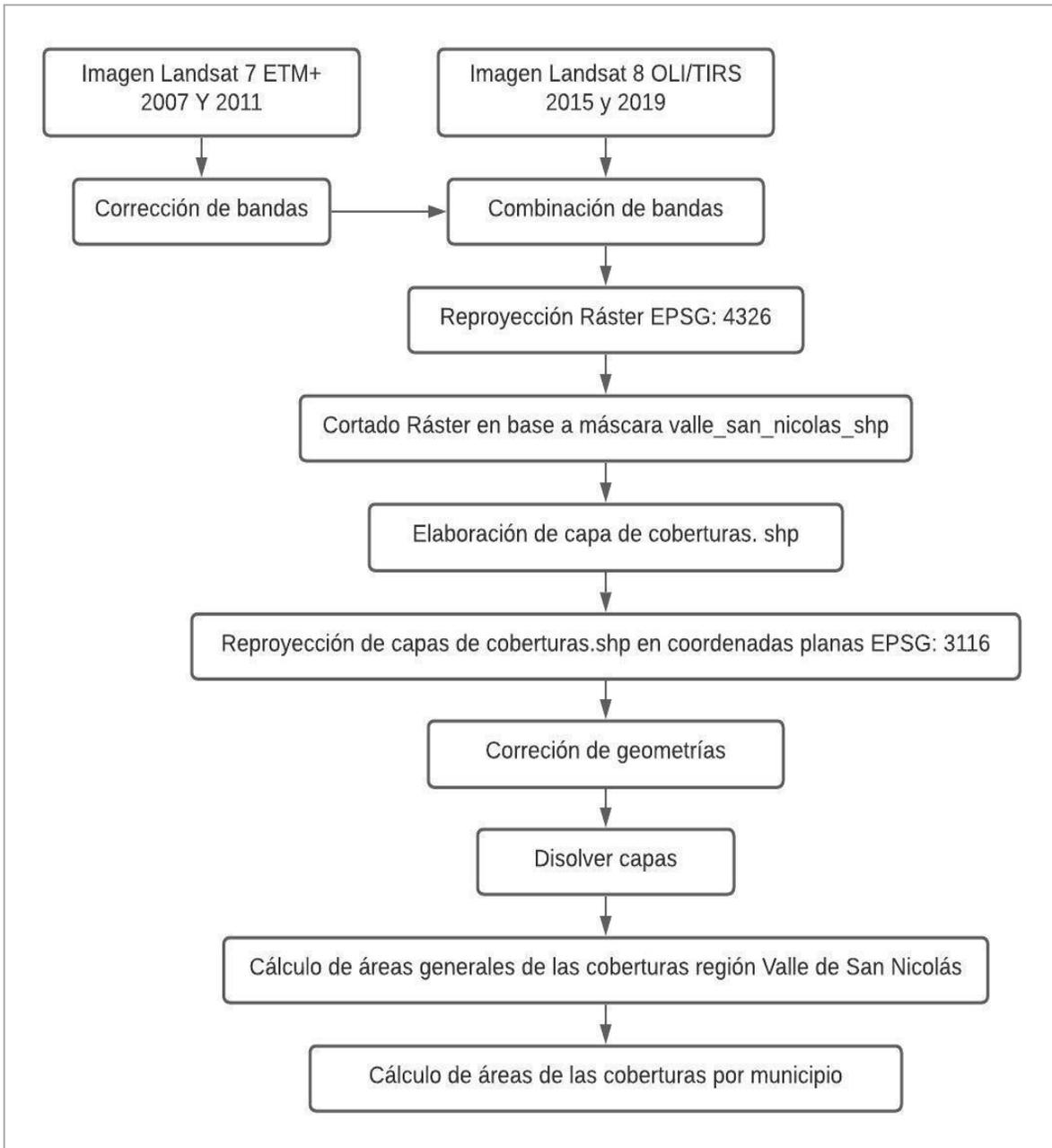
Figura 11. Capa coberturas municipales



Fuente. SIG QGIS

Para cada capa municipal creada se actualizó el campo “area” para la obtención de la ocupación de cada cobertura, al igual que en el área general de la región se exportaron las tablas de atributos de cada municipio para los 4 años de análisis. El esquema general de la metodología empleada en el procesamiento de las imágenes Landsat se observa en la figura 12.

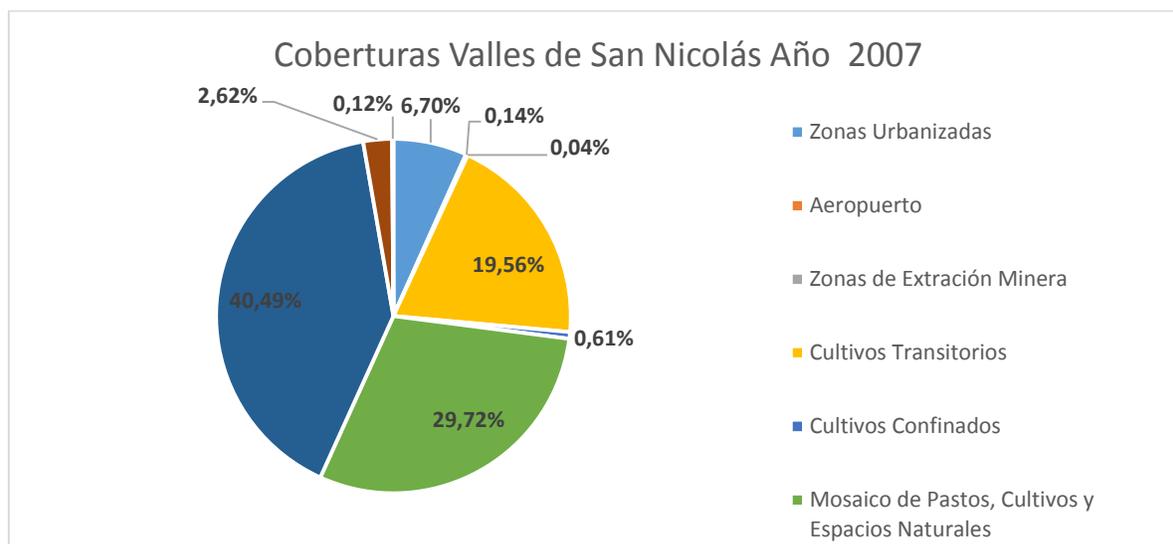
Figura 12. Esquema general de procesamiento de imágenes Landsat



9.1.10. Resultados de las coberturas anuales Valles de San Nicolás Año 2007

Para el año 2007, el área analizada del Valle de San Nicolás fue de 1697.7 km² de los cuales el 40.5% estaba representado en Bosque Denso seguido de Mosaico de Pastos, Cultivos y Espacios Naturales con un 30%, Cultivos Transitorios con un 19.6% y finalmente las Zonas Urbanizadas que representaban sólo un 6.7% de toda la región. Las coberturas se pueden observar en la figura 13.

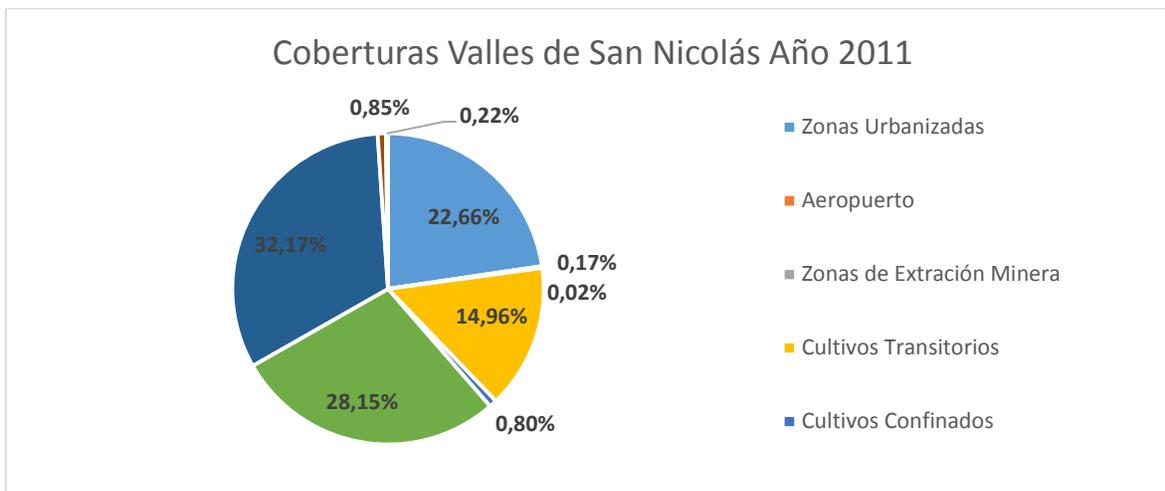
Figura 13. Coberturas terrestres Valle de San Nicolás año 2007



Año 2011

En el año 2011 se analizó un área de 1717.9 km², el bosque denso pasó de ocupar un 40.5% de la región en 2007 a un 32.2% en 2011 lo cual muestra una disminución de bosques en un 8.3%, que en contraste presentó un aumento en las zonas urbanizadas de 16% con respecto a 2007. Por su parte los cultivos transitorios disminuyeron de 19.6% a 15% para este periodo de tiempo. Las coberturas se observan en la figura 14.

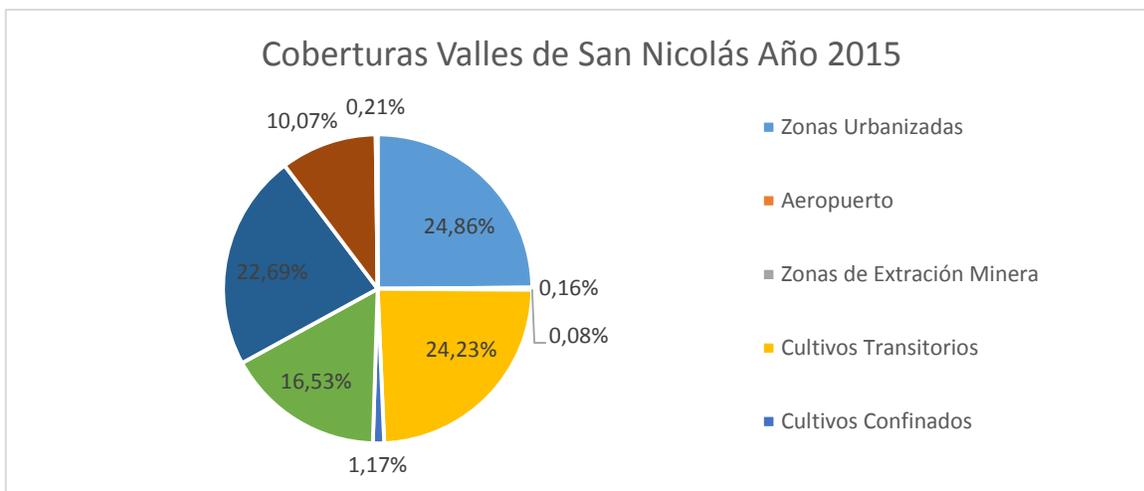
Figura 14. Coberturas terrestres Valle de San Nicolás año 2011



Año 2015

Para el año 2015 se analizó un área de 1744.6 km², la mayor parte de la región está representada por las zonas urbanizadas con un 24.86%, seguido de cultivos transitorios con un 24.23%, bosque denso 22.69% y finalmente mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales 16.53%. Para este año ya es posible identificar una tendencia creciente de las zonas urbanizadas, los cultivos transitorios y el mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales que se contrasta con la disminución del bosque denso, lo cual es el resultado de un acelerado desarrollo económico y territorial de la zona. En la figura 15 se observan las coberturas para este periodo.

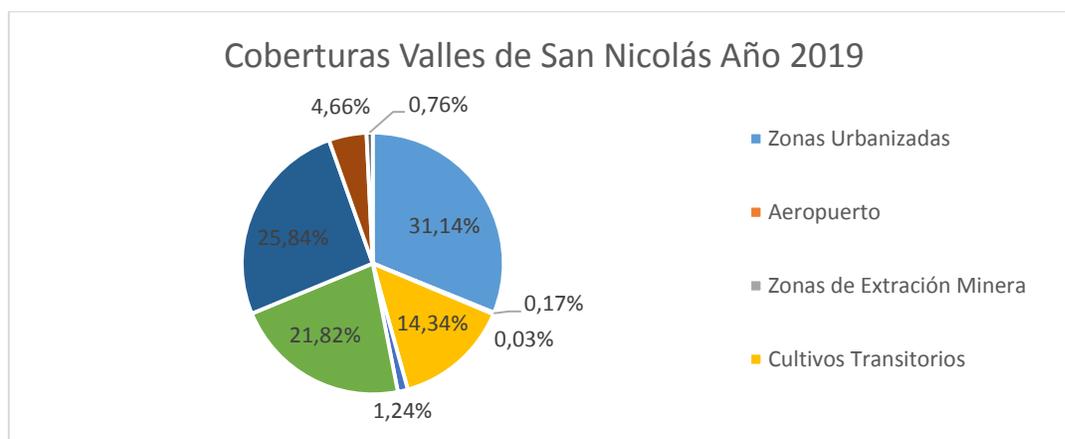
Figura 15. Coberturas terrestres Valle de San Nicolás año 2015



Año 2019

En el año 2019, el área total analizada fue de 1707 km², se observó que las zonas urbanizadas representan el 31.14% del territorio, sin embargo el porcentaje de bosque denso aumentó 3.15% respecto al 2015; dicha situación podría explicarse de algún modo por hechos como por ejemplo, la declaración de algunas zonas protegidas dentro de la región que constituyen un claro esfuerzo de la autoridad ambiental por la conservación de estos ecosistemas estratégicos. Por su parte los cultivos transitorios disminuyeron en un 9.8% para este periodo de tiempo. Las coberturas durante este periodo de tiempo se relacionan en la figura 16.

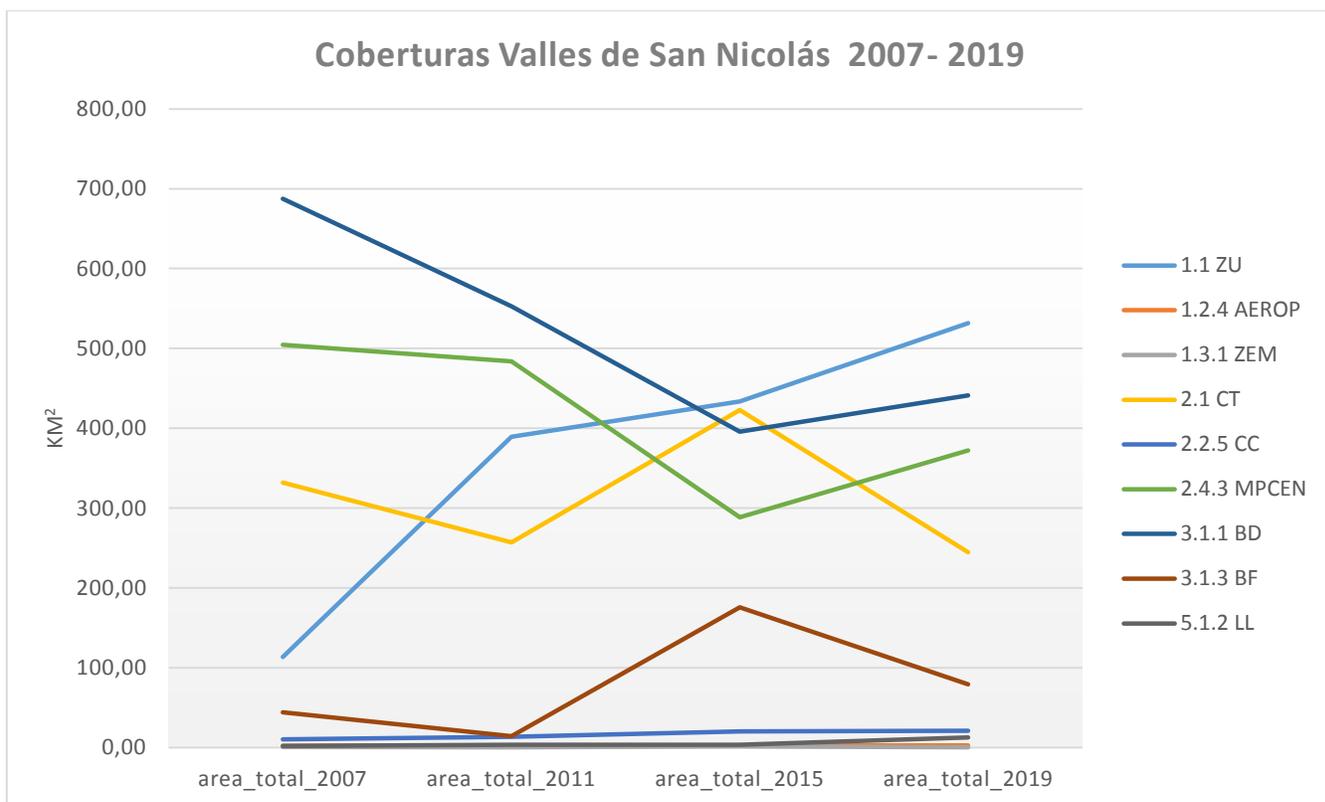
Figura 16. Coberturas terrestres Valle de San Nicolás año 2019



Análisis general de coberturas terrestres Valle de San Nicolás

Se observó un comportamiento creciente de las zonas urbanizadas en el Valle de San Nicolás pasando de 113.8 km² en 2007 a 531.6 km² en 2019, el bosque denso por su parte hasta el año 2015 presentó una disminución pasando de 687.3 km² a 395.8 km²; sin embargo, se observó una recuperación en esta área desde el año 2015 al año 2019 lo cual contrasta con el aumento del bosque fragmentado y los cultivos transitorios del año 2011 al 2015 y posterior disminución al año 2019. La cobertura de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales tuvo un comportamiento inverso a bosque fragmentado y bosque denso pues estos tuvieron una tendencia decreciente del año 2007 a 2015 donde empezaron a crecer hasta 2019 (véase figura 17). Se destacó el papel de la autoridad ambiental en pro de la conservación de los sistemas estratégicos (como áreas boscosas) dentro de la región para el sostenimiento de los servicios ecosistémicos por lo que se declararon algunas zonas protegidas dentro de este territorio que fueron abordadas en el análisis general de coberturas municipales.

Figura 17. Coberturas terrestres Valles de San Nicolás 2007-2019

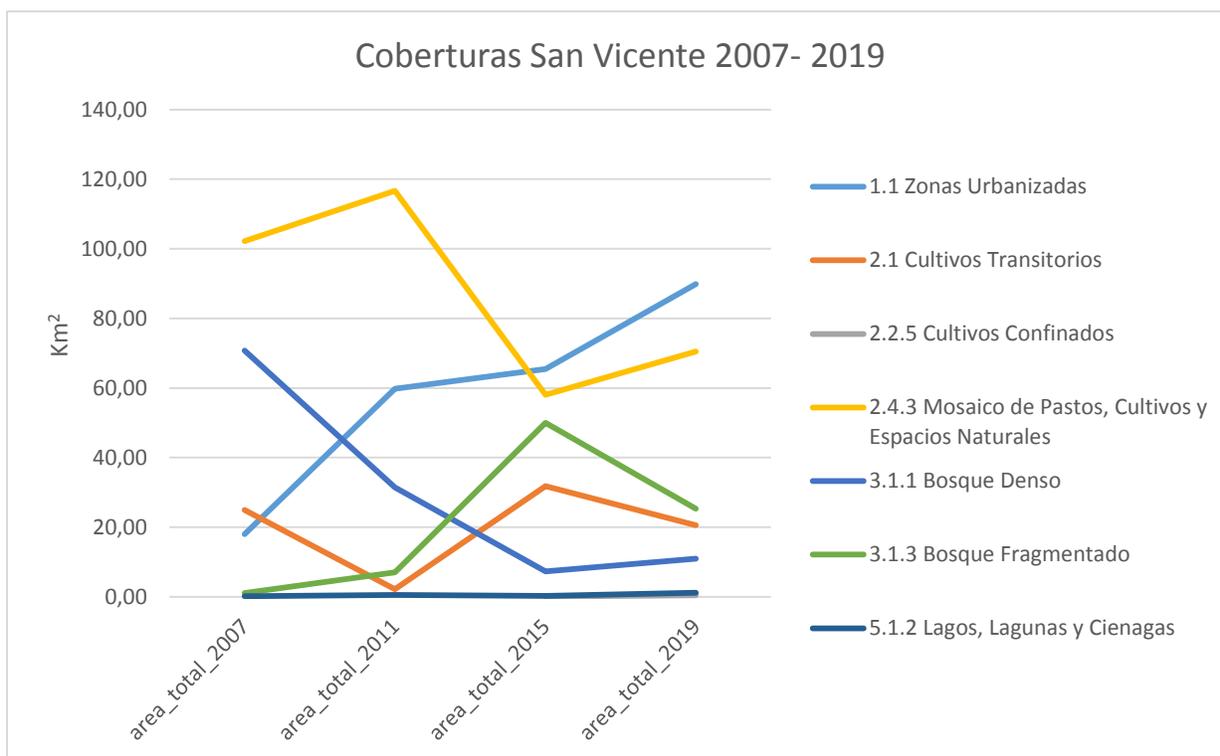


Coberturas en los municipios del Valle de San Nicolás 2007- 2019

San Vicente

Para 2007 y 2011, la mayor parte del municipio estaba representado en mosaicos de pastos cultivos y espacios naturales con un 47.09%. El bosque denso que en 2007 representaba el 32.59% del área territorial se redujo notoriamente hasta 2019 donde solo quedaron alrededor del 4.9 % de estos. Las zonas urbanizadas pasaron de ocupar en 2007 el 8.29% a 41.1% en 2019. El año con mayor porcentaje de bosque fragmentado se dio en el 2015 ocupando para este periodo el tercer puesto en coberturas a nivel municipal. La distribución de las coberturas se pueden observar en la figura 18.

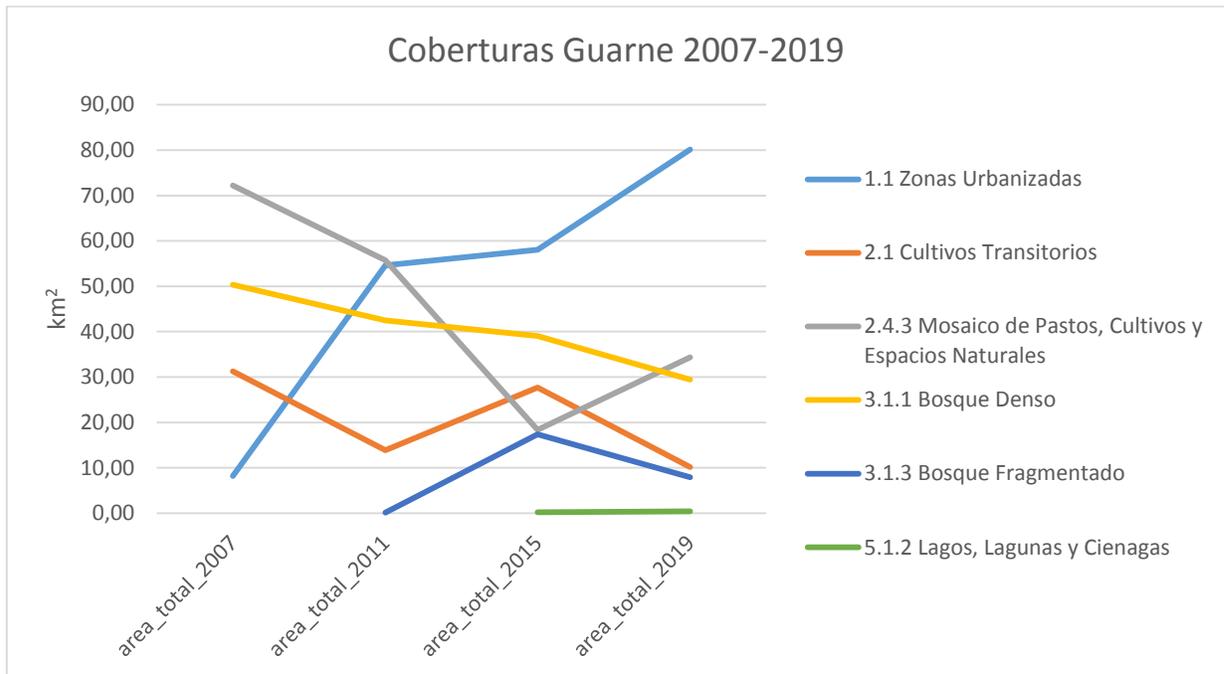
Figura 18. Coberturas terrestres San Vicente 2007-2019



Guarne

Para el análisis se tomó un área de 161.96 km², en 2007, el 44.57% del territorio estaba ocupado por mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales (siendo también la mayor cobertura para 2011 con un 33.4% y la segunda en el año 2019 con un 21.14%), seguido de bosque denso con un 31.06% y CT con un 19.29%. Las zonas urbanizadas tuvieron un gran crecimiento en este municipio pasando de 5.08% en el año 2007 a 49.36% en 2019 ocupando a su vez la mayor parte del territorio durante 2015 a 2019. El bosque denso por su parte disminuyó del 31.06% en 2007 a 18.13% en el año 2019. La distribución de las coberturas se pueden observar en la figura 19.

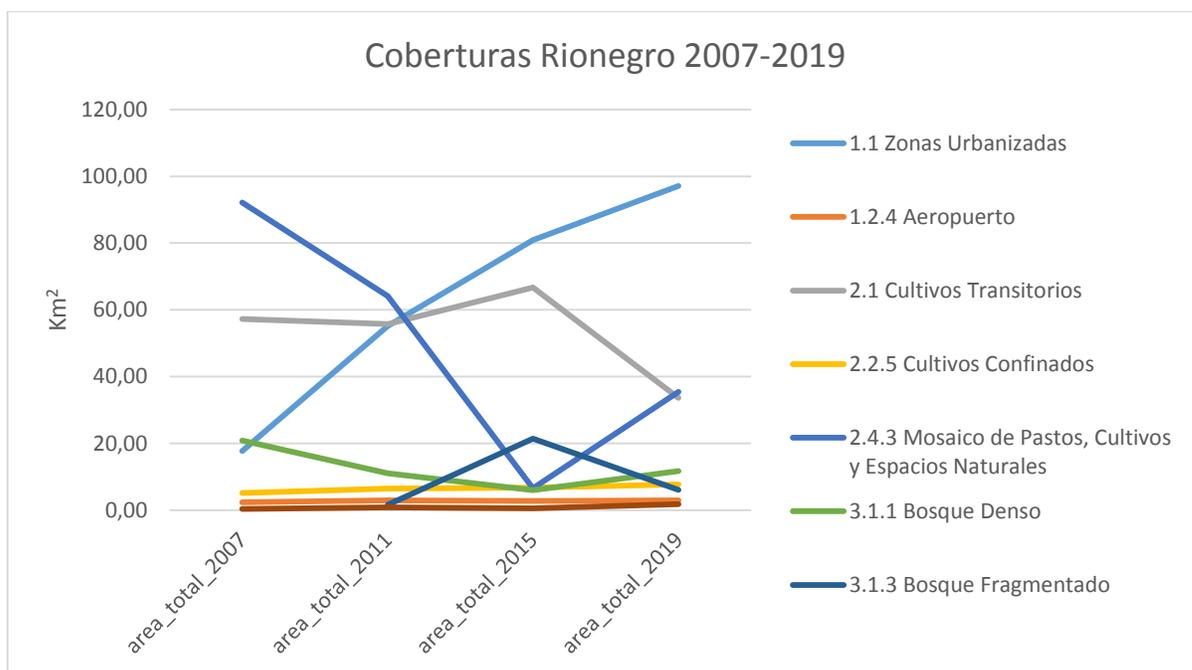
Figura 19. Coberturas terrestres municipio de Guarne 2007-2019



Rionegro

Las zonas urbanizadas tuvieron gran aumento en este municipio teniendo en cuenta que pasaron en 2007 del 9.04% al 49.45% en 2019. Se consideró además que el aumento de urbanismo en el municipio de Rionegro se consideró todo un fenómeno, pues el Oriente fue la zona en Antioquia de mayor crecimiento en los últimos años y el 50% de la actividad productiva y comercial del Oriente estuvo y estará ubicada en este municipio (96). Por su parte el bosque denso disminuyó hasta el año 2015 donde empezó a tener una leve recuperación a 2019. Los mosaicos de pastos, cultivos y espacios naturales fueron la mayor cobertura del territorio en el periodo 2007 a 2011 y la segunda mayor en 2019. Los cultivos transitorios se mantuvieron estables durante el periodo 2007 -2015 siendo estos la segunda mayor cobertura presente en la región. La distribución de las coberturas terrestres se pueden observar en la figura 20.

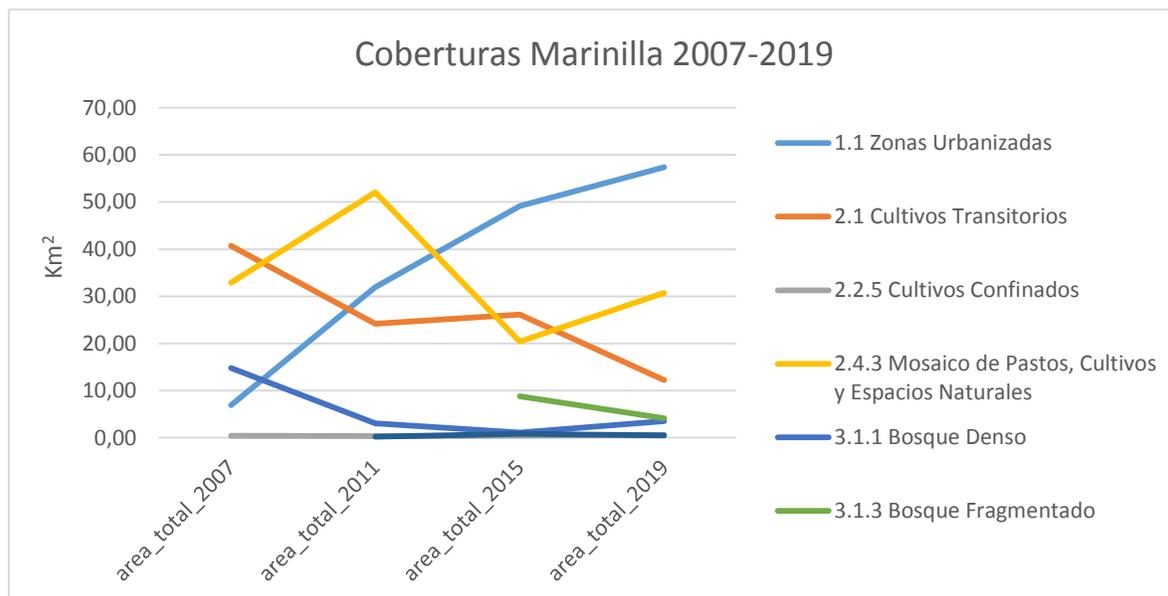
Figura 20. Coberturas terrestres municipio de Rionegro 2007-2019



Marinilla

El área de análisis para el año 2007 en el municipio de Marinilla fue de 111.17 km² de la cual la mayor parte de su territorio estaba representado en cultivos transitorios con un 36.6% seguido de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales con un 29.58% y bosque fragmentado con un 13.95%. Para 2011 casi la mitad del territorio estaba ocupado por mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales, sin embargo, las zonas urbanizadas ocupan el segundo lugar con un 28.59% y durante 2015 y 2019 son las áreas más abundantes en este municipio con un 46.04% y 52.62% respectivamente. Por su parte el bosque denso pasó de 13.3% en 2007 a 3.25% en 2019. El comportamiento de las coberturas para este municipio se pueden observar en la figura 21.

Figura 21. Coberturas terrestres municipio de Marinilla 2007-2019



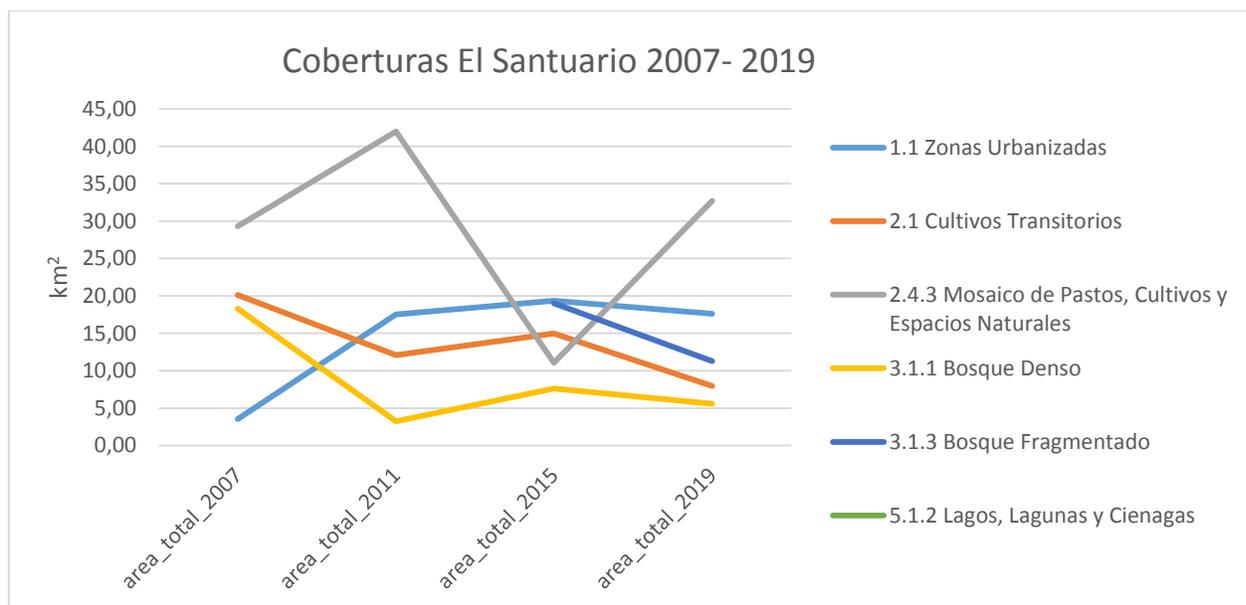
El Santuario

Para 2007, el 39.84% territorio estaba representado en mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales seguido de cultivos transitorios con un 27.34% y bosque denso 24.84%, por su parte las zonas urbanizadas conformaban solo el 4.82%. En 2011 aún la mayor parte del territorio lo conformaba el mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales con un 55.9%, sin embargo, las zonas urbanizadas tuvieron un crecimiento del 18.5% respecto al 2007 siendo esta la segunda mayor cobertura para este año y la primera en el año 2015 representada en un 26.9%.

El bosque denso pasó de ocupar un 24.84% en 2007 a 4.31% en 2011, en 2015 se incrementó en 10.5% disminuyendo de nuevo en 2019 a 7.45%. Respecto al bosque fragmentado pasó de 3.16% en 2007 a 26.41% en 2015.

Para el año 2019, la mayor parte del territorio estaba ocupado por mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales con un 43.55%, seguido de zonas urbanizadas 23.43% y finalmente bosque fragmentado 15%. Los resultados de las coberturas se pueden observar en la figura 22.

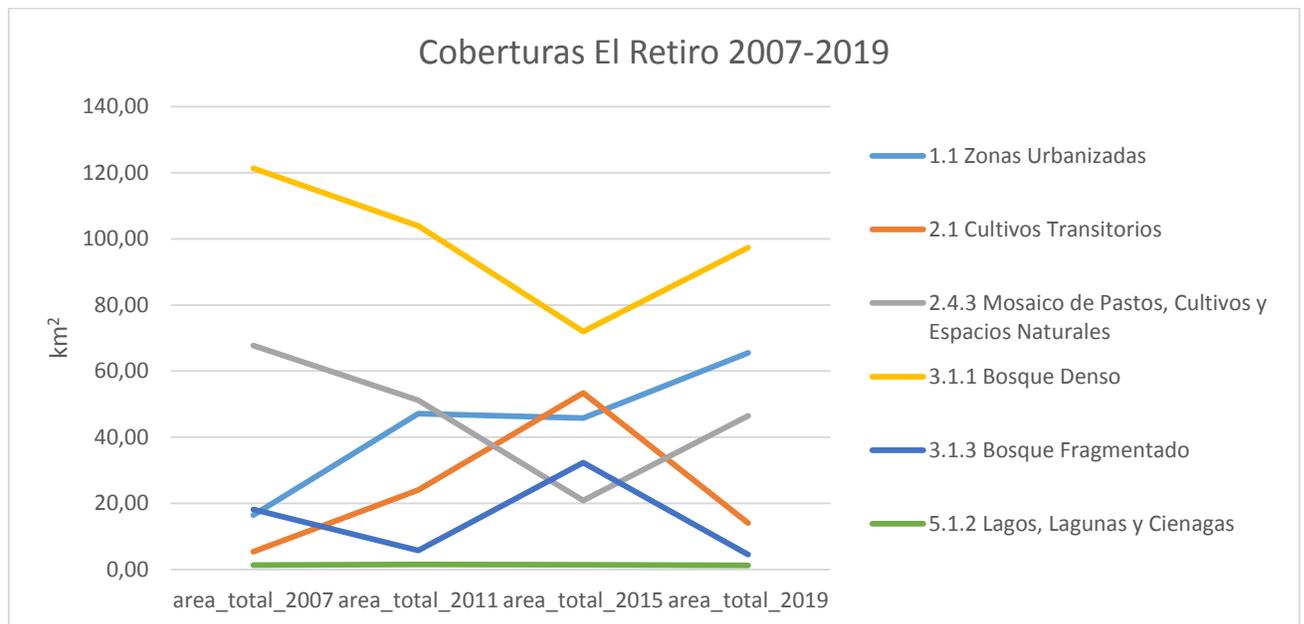
Figura 22. Coberturas terrestres municipio de El Santuario 2007-2019



El Retiro

En el municipio de El Retiro para el periodo 2007-2019 el bosque denso fue la cobertura predominante pasando de 52.6% en 2007 a 42.475 en 2019, sin embargo, su menor porcentaje se dio hacia el año 2015 donde se tuvo un 31.88%. Las zonas urbanizadas pasaron de 7.16% en 2007 a 28.58% en 2019 siendo la segunda mayor cobertura en el año 2019. Los cultivos transitorios y el bosque fragmentado tuvieron su mayor porcentaje en el año 2015 con un 23.63% y 14.32% respectivamente. El mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales fue la mayor cobertura durante los años 2007 y 2011. Las coberturas para este municipio se pueden observar en la figura 23.

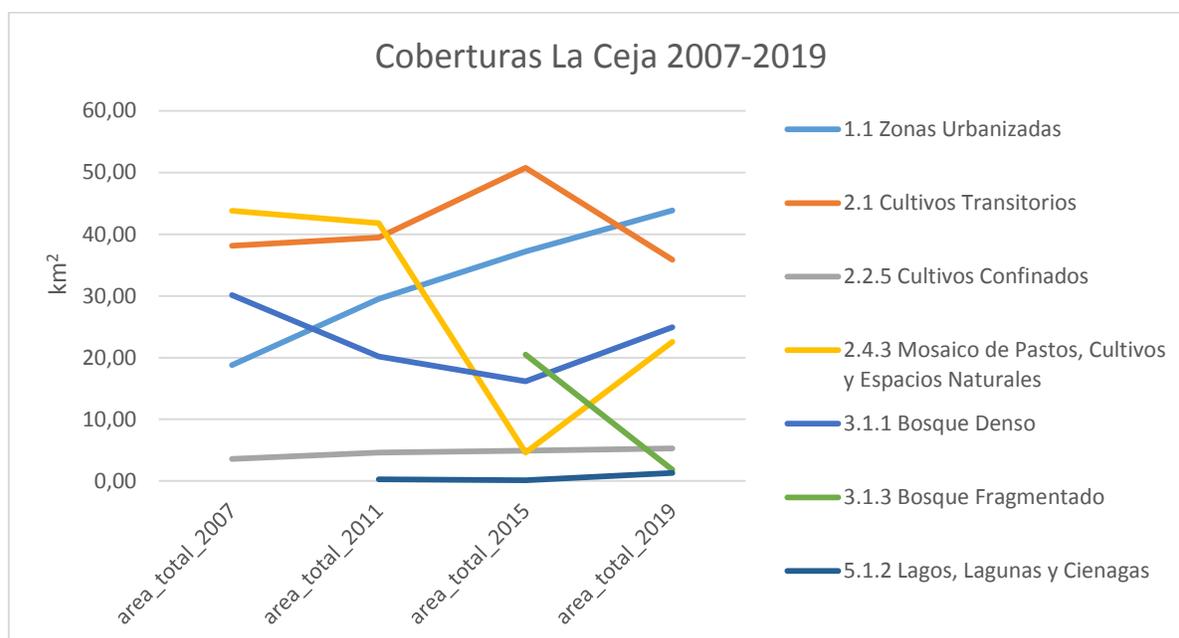
Figura 23. Coberturas terrestres municipio de El Retiro 2007-2019



La Ceja

Para 2007, el área municipal analizada fue de 134.48 km², la principal cobertura para el año 2007 y 2011 fue mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales con un 32.57% y 30.78% respectivamente. Los cultivos transitorios se han mantenido entre el 28.33% y el 37.81% durante el periodo 2007-2019 siendo la mayor cobertura presentada en el año 2015. El bosque denso tuvo su mayor porcentaje en el año 2007 con un 22.42% siendo para este periodo la tercer mayor cobertura en el municipio. Por su parte las zonas urbanizadas pasaron de 13.99% en el año 2007 a 32.34 en el año 2019 donde fue la cobertura más abundante en el territorio. Las coberturas de este municipio se observan en la figura 24.

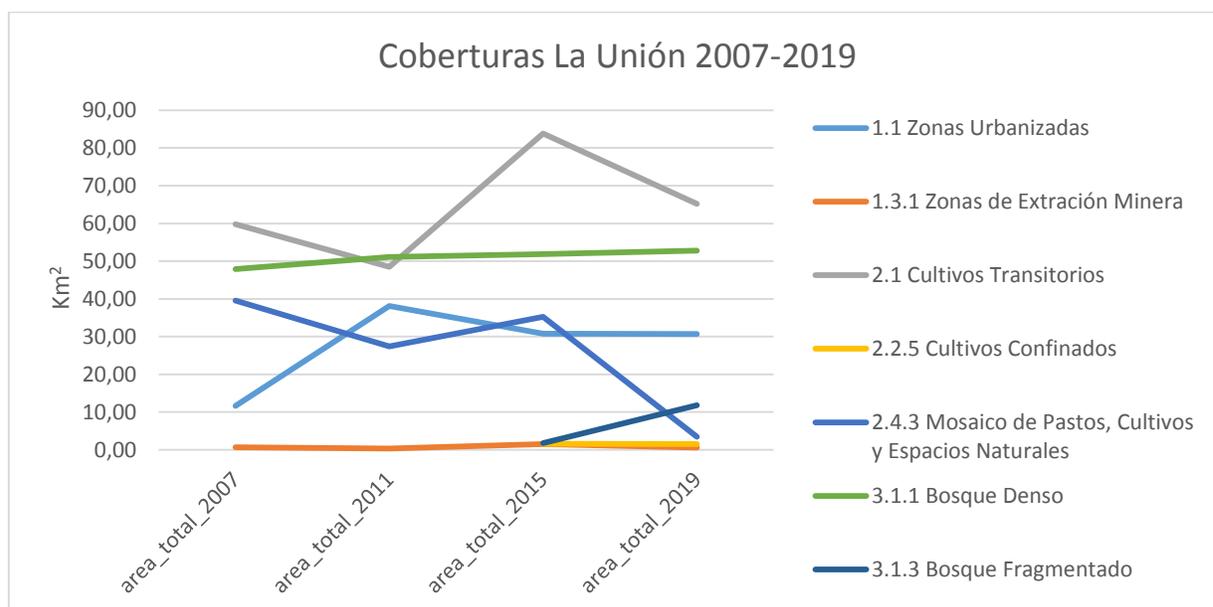
Figura 24. Coberturas terrestres municipio de La Ceja 2007-2019



La Unión

Para este análisis se tomó un área del municipio de La Unión de 165 km². La mayor cobertura para los años 2007, 2015 y 2019 fueron los cultivos transitorios con una ocupación del territorio de 36.21%, 40.59% y 38.93% respectivamente. El bosque denso ha permanecido entre 25.1% y 31.52% durante el periodo 2007-2019 siendo la mayor cobertura en el año 2011 con un 30.91%. Las zonas urbanizadas, tuvieron la mayor representación en el año 2011 con un 23.02% siendo para este período la tercera mayor cobertura presente, las coberturas para este municipio se observan en la figura 25.

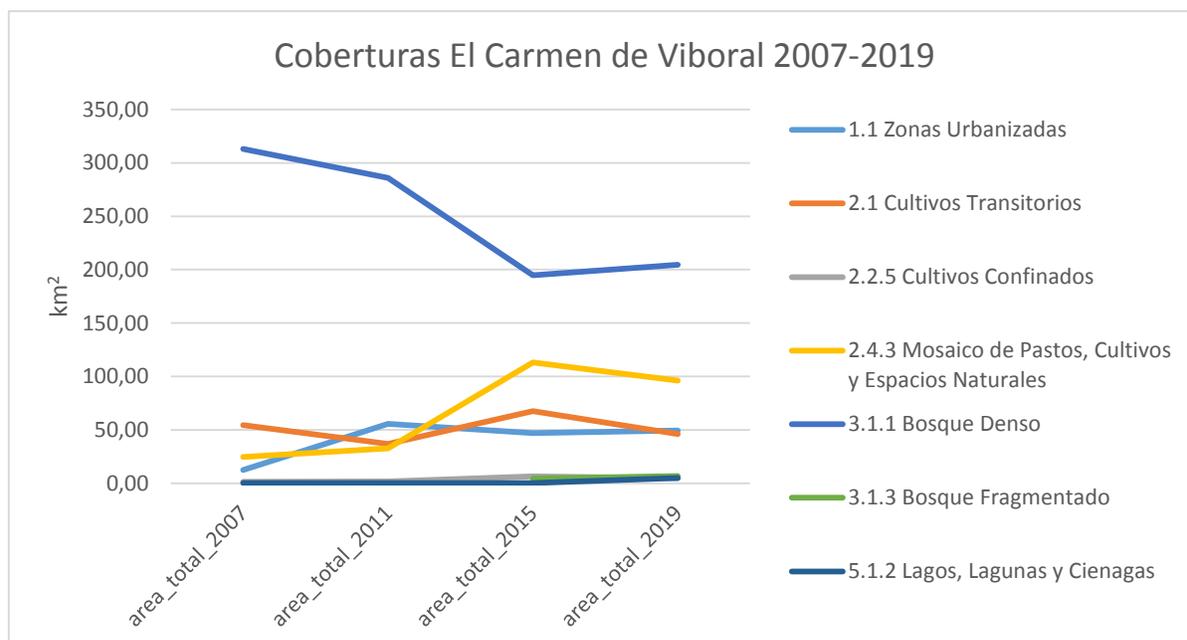
Figura 25. Coberturas terrestres municipio de La Unión 2007-2019



El Carmen de Viboral

Para este municipio sobresalió en 2007 que el 76.62% de su territorio era bosque denso, seguido cultivos transitorios con un 13.35% y zonas urbanizadas con un 3.05%. Durante el periodo 2007 a 2019 aunque el bosque denso fue la mayor cobertura, en 2015 se dio la mayor disminución de esta con un 44.91%. Para 2011 las zonas urbanizadas representaban el 13.45% del territorio (siendo este año el valor más alto presente en el periodo de análisis) junto con el 8.96% correspondiente a cultivos transitorios. Para 2015 se registró el mayor porcentaje de mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales durante el periodo 2007-2019 con un 26.10%. La distribución de las coberturas de este municipio se observan en la figura 26.

Figura 26. Coberturas terrestres municipio de El Carmen de Viboral 2007-2019



Análisis general de coberturas terrestres municipales.

Se considera que la mayor cantidad de hectáreas agrícolas del oriente antioqueño se concentraron en la región del Valle de San Nicolás (alrededor del 36%). Municipios como El Santuario y Marinilla tuvieron casi la mitad de sus territorios dedicados a la agricultura, siendo también muy representativos en este sector los municipios de San Vicente y El Carmen de Viboral (97).

Sin embargo, se destacó también el municipio de La Unión donde ha prevalecido a lo largo de los periodos de análisis coberturas como cultivos transitorios y mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales a diferencia de otros municipios como por ejemplo Rionegro, Marinilla y La Ceja que se convirtieron en lugares muy atractivos para los nuevos desarrollos urbanísticos lo cual es confirmado por una tendencia creciente para la cobertura de zonas urbanizadas.

Desde el punto de vista ambiental y ecológico, la autoridad ambiental declaró varias zonas del Valle de San Nicolás como áreas protegidas y de manejo especial (ver cuadro 10), que dan cuenta de una mejora en la situación de los bosques en la región.

Cuadro 10. Zonas protegidas en el Valle de San Nicolás

Acuerdo de declaratoria	Zona protegida	Municipios de influencia	Número de km₂
Resolución 1510 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Reserva Nacional Forestal Protectora del Nare	Municipios de Medellín, Envigado, Guarne, Rionegro y El Retiro.	88.28 Km ₂
	Reserva de la sociedad civil – Mano de Oso	Rionegro	0.01 km ₂
	Reserva de la sociedad civil – Lucitania	La Unión	2 km ₂
Acuerdo 192 y 294 Cornare (2007 y 2013)	Distrito de Manejo Integrado (DMI) Centro de Investigaciones La Selva	Rionegro	0.64 km ₂
Acuerdo 322 de 2015 Cornare	Reserva Forestal Protectora Regional (RFPR) de los cañones de los Ríos Melcocho y Santo Domingo	El Carmen de Viboral El Retiro La Ceja La Unión	265.34 km ₂
Acuerdo 326 de 2015 Cornare	DMRI El Capiro	Rionegro La Ceja	4.72 Km ₂
Acuerdo 329 de 2015 Cornare	DRMI Los Cedros	El Santuario Marinilla	13.36 Km ₂

Acuerdo de declaratoria	Zona protegida	Municipios de influencia	Número de km₂
Acuerdo 330 de 2015 Cornare	DRMI San Miguel	El Retiro	83.55 Km ₂
	DRMI Sistema Viaho - Guayabal	El Carmen de Viboral El Santuario	21.54 Km ₂
Acuerdo 323 de 2015 Cornare Acuerdo 376 de 2018 de Cornare	Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) Cerros de San Nicolás	La Ceja El retiro El Carmen de Viboral La Unión	35.79 Km ₂
Total			517.23 Km₂

Adaptado de: Cornare. Sistema Regional de Áreas Protegidas (SIRAP) [Internet]. [Consultado 2020 12 22]. Disponible en: <https://www.cornare.gov.co/sistema-regional-de-areas-protegidas/>.

9.2. Resultados objetivo 2: Describir la distribución espacial de casos de dengue por municipios del valle de San Nicolás durante años 2007-2019.

Se descargaron del Anuario Estadístico de Antioquia los archivos de Excel para los años 2007, 2011 y 2015. Se filtraron los municipios de interés (ver anexos 6-8).

En cuanto al SIVIGILA se descargaron los archivos de Excel para los años 2007, 2011, 2015 y 2018 (ver anexos 9-12)

Para el análisis del año 2007 a 2015, se tomó el reporte de los casos del Anuario Estadístico de Antioquia; no se tomó el año 2019 ya que aún no está disponible el archivo para este año. Para el año 2019 se utilizaron los datos del SIVIGILA que correspondían a “casos confirmados por laboratorio” y “casos confirmados por nexos epidemiológico”.

En la tabla 2, se encuentra el consolidado de los casos de dengue en el periodo 2007 a 2019.

Tabla 2. Consolidado de casos dengue Valle de San Nicolás 2007-2019

Año/Municipio (Altitud promedio en metros sobre nivel del mar (m.s.n.m)).	El Carmen de Viboral (2150)	El Retiro (2.278)	El Santuario (2.150)	Guarne (2.150)	La Ceja del Tambo (2.200)	La Unión (2.500)	Marinilla (2.120)	Rionegro (2.130)	San Vicente (2.150)
2007	3	1	0	2	4	4	0	6	0
2011	1	0	2	2	3	0	2	6	1
2015	3	4	5	1	1	0	4	6	5
2019*	x	x	x	x	2	x	4	8	x

Adaptada de Anuario Estadística de Antioquia y SIVIGILA.

* En la base de datos para este año no se encontró reporte de casos de dengue para algunos municipios que se representan x.

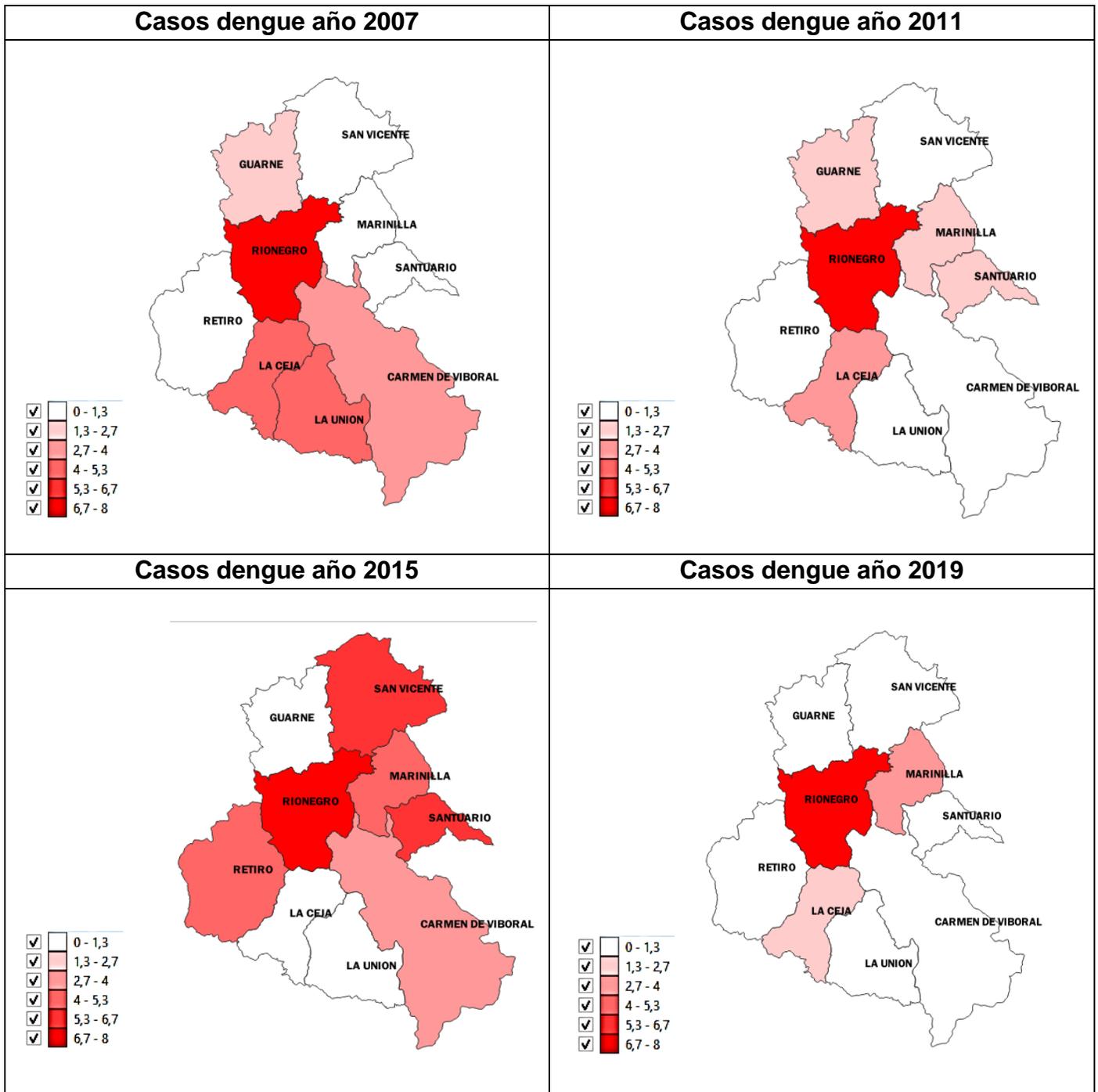
Para los 4 años analizados se presentaron en total 80 casos de dengue, de los cuales el municipio de Rionegro concentró el 32.5% de los casos ocupando cada año el primer lugar en número de reportes siendo el 2019 el periodo donde más casos presentó (8 en total). Por el contrario, el municipio de La Unión solo reportó 4 casos en el año 2007.

El municipio de El Retiro pasó de reportar 1 caso en el año 2007 a reportar 4 en el año 2015, sin embargo, no reportó casos en 2011 y 2019. Marinilla por su parte ha venido aumentando sus casos pasando de tener 2 en 2011 a tener 4 en 2019. El municipio de La Ceja ha disminuido el número de casos respecto al año 2007.

Durante el año 2019 solo se tuvo reporte de casos de dengue en los municipios de La Ceja, Marinilla y Rionegro con 2,4 y 8 casos respectivamente. El período en que más casos de dengue se reportaron fue el año 2015 con un total de 29 casos, seguido del 2007 con 20 casos; el periodo que menos casos reportó a nivel regional fue el año 2019, sin embargo es importante tener en cuenta que no se cuenta con reporte para este año de la mayoría de los municipios de la región.

La distribución espacial de casos de dengue para este periodo se puede observar en el cuadro 11.

Cuadro 11. Distribución espacial casos de dengue en el Valle de San nicolás 2007-2019.



Fuente. SIG QGis

9.3. Resultado objetivo 3: Explorar la relación entre los casos de dengue ocurridos en los municipios del valle de San Nicolás y el área de suelo de cultivos o pastos bajos para la misma zona.

Para realizar las regresiones se utilizó el software estadístico R, se organizaron los datos como se observa en la tabla 3 y se cargaron en el programa estadístico. Como variable dependiente se usaron los casos de dengue y como variable independiente cada una de las coberturas objeto de análisis.

Tabla 3. Reporte de casos de dengue y coberturas vegetales en el Valle de San Nicolás 2007-2019

municipio	año	casos	bf	bd	zu	ct	mpcen
<chr>	<int>	<int>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>
El Carmen de Viboral	2007	3	2.41	312.91	12.47	54.51	24.60
El Carmen de Viboral	2011	1	NA	286.05	55.56	37.02	32.67
El Carmen de Viboral	2015	3	4.46	194.75	47.02	67.60	113.20
El Carmen de Viboral	2019	0	6.73	204.73	49.39	46.20	96.17
El Retiro	2007	1	18.23	121.30	16.51	5.38	67.79
El Retiro	2011	0	5.79	103.95	47.18	24.05	51.17
El Retiro	2015	4	32.34	71.98	45.81	53.36	20.86
El Retiro	2019	NA	4.51	97.36	65.52	14.09	46.45
Guarne	2007	1	NA	50.31	8.23	31.24	72.19
Guarne	2011	0	0.17	42.51	54.59	13.89	55.73
Guarne	2015	4	17.42	39.07	58.06	27.69	18.39
Guarne	2019	NA	7.91	29.44	80.16	10.16	34.33
La Ceja del Tambo	2007	4	NA	30.15	18.81	38.10	43.80
La Ceja del Tambo	2011	3	NA	20.17	29.50	39.46	41.81
La Ceja del Tambo	2015	1	20.48	16.16	37.19	50.76	4.62
La Ceja del Tambo	2019	2	1.82	24.92	43.87	35.88	22.58
La Unión	2007	4	4.95	47.91	11.67	59.75	39.55
La Unión	2011	0	NA	51.13	38.09	48.49	27.43
La Unión	2015	0	1.73	51.84	30.75	83.82	35.27
La Unión	2019	NA	11.77	52.80	30.66	65.21	3.41
Marinilla	2007	0	15.51	14.79	6.90	40.69	32.88
Marinilla	2011	2	NA	3.06	31.96	24.15	52.05
Marinilla	2015	4	8.76	1.07	49.17	26.13	20.40
Marinilla	2019	4	4.13	3.54	57.35	12.19	30.70
Rionegro	2007	6	NA	20.89	17.70	57.28	92.19
Rionegro	2011	6	1.56	11.04	55.13	55.76	64.12
Rionegro	2015	6	21.44	6.00	80.90	66.68	6.55
Rionegro	2019	8	6.08	11.71	97.13	33.58	35.47
San Vicente	2007	0	1.04	70.73	17.98	24.90	102.17
San Vicente	2011	1	7.02	31.43	59.77	2.16	116.66
San Vicente	2015	5	50.04	7.32	65.46	31.82	58.06
San Vicente	2019	NA	25.31	10.91	89.87	20.52	70.45
El Santuario	2007	0	2.33	70.73	3.55	20.13	29.33
El Santuario	2011	2	NA	31.43	17.52	12.10	41.98
El Santuario	2015	5	19.01	7.32	19.36	14.96	11.05
El Santuario	2019	NA	11.27	10.91	17.60	7.94	32.71

A dataframe: 36 x 8

Fuente. Tabla elaborada por el software estadístico R

Se realizaron varios modelos lineales a fin de explorar el comportamiento de las variables coberturas en relación a los casos de dengue presentados en la región. El primer modelo lineal se realizó para estudiar la relación de los casos de dengue contra todas las variables (Bosque Fragmentado – bf -, Bosque Denso (bd), Zonas Urbanizadas (zu), Cultivos Transitorios (ct) y Mosaico de Pastos, Cultivos y Espacios Naturales (mpcen)). Los resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Modelo lineal casos de dengue contra Bosque Fragmentado, Bosque Denso, Zonas Urbanizadas, Cultivos Transitorios y Mosaico de Pastos, Cultivos y Espacios Naturales

```

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.5788539  1.4153482   0.409  0.6877
bf           0.0274648  0.0379095   0.724  0.4786
bd          -0.0005019  0.0066493  -0.075  0.9407
zu           0.0540322  0.0195114   2.769  0.0131 *
ct           0.0132557  0.0212314   0.624  0.5407
mpcen       -0.0208931  0.0146735  -1.424  0.1726
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2.022 on 17 degrees of freedom
(13 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.4623, Adjusted R-squared:  0.3042
F-statistic: 2.923 on 5 and 17 DF,  p-value: 0.04398

```

Este primer modelo muestra que a partir de las coberturas *Bosque Fragmentado*, *Bosque Denso*, *Cultivos Transitorios* y *Mosaico De Pastos, Cultivos y Espacios Naturales* se obtuvo valores entre 17% y 94% por lo que no se rechaza la hipótesis nula ya que estadísticamente en relación a estas variables los casos de dengue se configuran como un evento aleatorio, sin embargo, la variable que tiene mayor peso para describir el comportamiento de los casos es *Zonas Urbanizadas* con un valor p del 4.3%.

Al considerarse que es un estudio ambiental y permitir un resultado de P máximo del 10% podemos aceptar el modelo dos, el cual representa la relación existente entre casos de dengue, *Zonas Urbanizadas* y la unión de las variables *Cultivos Transitorios* y *Mosaico de Pastos, Cultivos y Espacios Naturales* como se observa en la tabla 5, obteniendo como resultado que el modelo predice con un valor $p=6\%$ que aun la variable que describe el comportamiento de los casos de dengue son las *Zonas Urbanizadas*.

Tabla 5. Modelo lineal de casos de dengue contra Cultivos Transitorios y Mosaico de Pastos, Cultivos y Espacios Naturales

```

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1.227195  1.224608   1.002  0.3249
zu           0.041979  0.017037   2.464  0.0201 *
I(ct + mpcen) -0.002987  0.011238  -0.266  0.7923
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2.133 on 28 degrees of freedom
(5 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.1811, Adjusted R-squared:  0.1226
F-statistic: 3.095 on 2 and 28 DF,  p-value: 0.06102

```

En el tercer modelo se analizó casos de dengue contra bosque denso asumiendo un P máximo del 10%. Como resultado arrojó un valor de $p=9,4\%$, como se observa en la tabla 6, por lo que en este modelo se rechaza hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna que dice que a medida que disminuye el bosque denso aumentan los casos de dengue. Ver figura 27.

Tabla 6. Modelo lineal casos de dengue contra bosque denso.

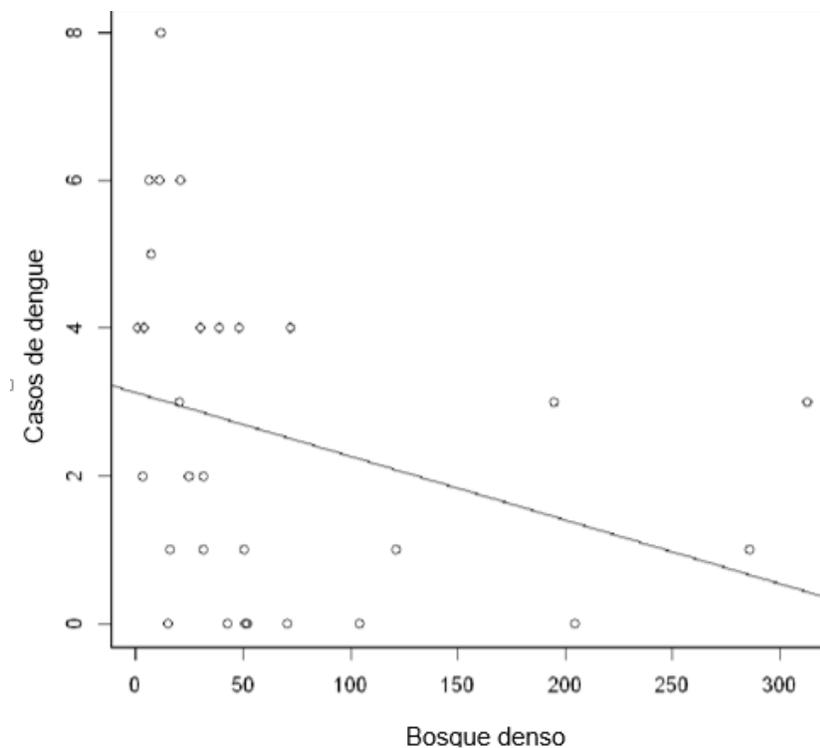
```

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  3.126841   0.506601   6.172 9.94e-07 ***
bd           -0.008635   0.004994  -1.729  0.0944 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2.205 on 29 degrees of freedom
(5 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.09345, Adjusted R-squared:  0.06219
F-statistic:  2.99 on 1 and 29 DF,  p-value: 0.09444
    
```

Adaptado de R. Auckland: Gentleman, R, Ross, I; 1993

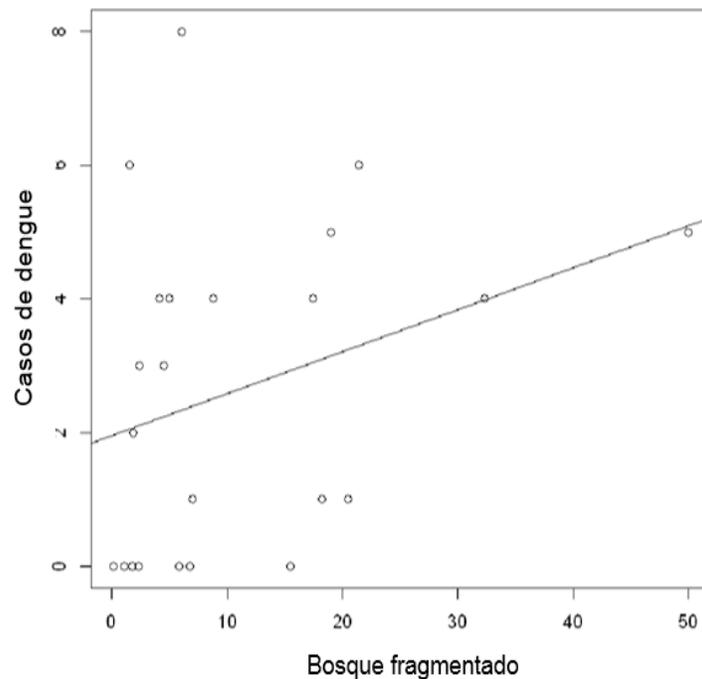
Figura 27. Modelo lineal de casos de dengue contra bosque denso



Adaptado de R. Auckland: Gentleman, R, Ross, I; 1993

Al realizar el análisis con la variable *Bosque Fragmentado* y un p máximo del 10% se obtuvo un valor de $p= 15\%$ el cual es un resultado no significativo para nuestro estudio por lo cual se acepta la hipótesis nula de que esta cobertura se explica por aleatoriedad lo cual se observa en la figura 28.

Figura 28. Comportamiento modelo lineal casos de dengue contra bosque fragmentado



Adaptado de R. Auckland: Gentleman, R, Ross, I; 1993

9.4. Resultado objetivo 4: Explorar la relación entre los casos de dengue ocurridos en los municipios del valle de San Nicolás y el área urbana en los municipios de estudio.

En el primer modelo se observó que la variable *Zonas Urbanizadas* explica el fenómeno del aumento de casos de dengue asumiendo un p máximo de 5% se obtuvo un valor p del 4% para esta variable. Al tener un valor $p < 5\%$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, los casos de dengue no se explican por aleatoriedad sin importar la cobertura.

En el segundo modelo (al igual que en el primero) *Zonas Urbanizadas* es la cobertura que más influencia tiene sobre la aparición de los casos de dengue, por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, los casos de dengue no se explican por aleatoriedad.

Se realizó un modelo de casos contra zonas urbanizadas con un valor p máximo del 5% cuyo resultado se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Modelo lineal casos de dengue contra Zonas Urbanizadas

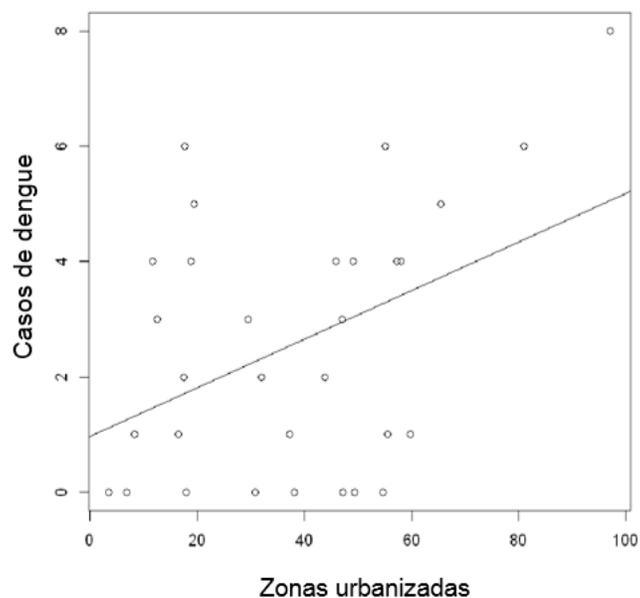
```

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.97092   0.74288   1.307  0.2015
zu           0.04213   0.01675   2.515  0.0177 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2.098 on 29 degrees of freedom
(5 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.179, Adjusted R-squared:  0.1507
F-statistic: 6.323 on 1 and 29 DF, p-value: 0.01772
    
```

Con un valor p del 1.7%, se acepta que *Zonas Urbanizadas* tiene influencia en el aumento de los casos del dengue al tener un valor $P < 5\%$, por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, los casos de dengue no se explican por aleatoriedad. El comportamiento del modelo lineal se observa en la figura 29.

Figura 29. Comportamiento modelo lineal casos contra Zonas Urbanizadas



Adaptado de R. Auckland: Gentleman, R, Ross, I; 1993

Se realizó por último un modelo donde se analizaron los casos de dengue contra *Zonas Urbanizadas* y *Bosque Denso* más *Bosque Fragmentado* en el cual las variables *Bosque Denso* y *Bosque Fragmentado* no explican el comportamiento del fenómeno y predomina la cobertura de *Zonas Urbanizadas* con un valor p del 2%. Se tiene que las variables *Bosque Denso* y *Bosque Fragmentado* no influyen en la aparición de casos de dengue. Los resultados se observan en la tabla 8.

Tabla 8. Modelo lineal casos de dengue contra Zonas Urbanizadas y (Bosque Denso más Bosque Fragmentado)

Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.629492	1.134582	0.555	0.5852
zu	0.053398	0.019382	2.755	0.0122 *
I(bd + bf)	-0.002978	0.006122	-0.486	0.6319

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
Residual standard error: 2.094 on 20 degrees of freedom (13 observations deleted due to missingness)				
Multiple R-squared: 0.3212, Adjusted R-squared: 0.2534				
F-statistic: 4.732 on 2 and 20 DF, p-value: 0.02076				

Adaptado de R. Auckland: Gentleman, R, Ross, I; 1993

10. Discusión

En la región se ha observado una transformación del entorno asociado entre otras causas al crecimiento demográfico, la expansión de zonas urbanizadas y desarrollo acelerado del sector constructor y de servicios, que se contrasta por ejemplo con el tema de la variación de las diferentes coberturas vegetales y terrestres encontradas durante el período 2007- 2019. La cobertura vegetal predominante en el Valle de San Nicolás durante este periodo fue bosque denso representando un 40.5% y 32.2% respectivamente, sin embargo, para los años 2015 y 2019 la cobertura terrestre con mayor proporción en la región fue zonas urbanizadas ocupando aproximadamente la cuarta parte de la totalidad del territorio y dejando la cobertura vegetal en segundo lugar para estos años.

A pesar de que gran parte de los municipios del Valle de San Nicolás han tenido tradicionalmente una vocación de uso de suelo agrícola como en el caso de San Vicente, Guarne, Marinilla, El Retiro y La Ceja, además áreas boscosas significativas del territorio, los resultados de esta investigación demuestran que en los últimos años se ha venido transformando a usos industriales y recreativos. Estos cambios sumados a la acelerada expansión urbana (asociada a la alta densidad poblacional), han sido descritos por algunos autores en otros estudios como eventos que aumentan la presencia de patógenos causantes de importantes problemas de salud pública como es el caso del dengue.

En los diferentes modelos realizados en este estudio se evidenció que la variable que más influencia tuvo sobre la aparición de casos de dengue en el Valle de San Nicolás fue zonas urbanizadas, siendo el municipio de Rionegro el que más crecimiento de esta cobertura presentó, pasando del 9.04% en 2007 al 49.45% en 2019 y este a su vez fue el ente territorial con mayor reporte de casos de dengue durante este período (alrededor del 32.5%). No obstante, es importante destacar como lo establece Padilla-Sáenz (38) que aunque la aparición de casos de dengue es consecuencia de diversos factores entre ellos el socioeconómico (por ejemplo la expansión del tejido urbano), estudios como el de Meza-Gónima (1) demuestran además que un incremento en la ocurrencia de casos de dengue también se relaciona directamente con el deterioro de la cobertura vegetal (vigor y la densidad) y que a mayor cobertura vegetal en una zona determinada, es menor la incidencia del dengue en la misma.

Estudios previos como el de Troyo (98) donde se han empleado imágenes satelitales han demostrado que el dengue está relacionado con áreas edificadas en oposición a áreas boscosas, sin embargo, esto se ha contrastado con otras investigaciones donde se ha establecido que la cobertura arbórea en espacios urbanos ha favorecido la presencia larvaria del *Aedes* al proporcionarle un ambiente de sombra y con ello un hábitat favorable con mayor densidad de vectores en zonas boscosas. En esta investigación las variables de cobertura vegetal analizadas mediante sensoramiento remoto tales como bosque denso, bosque fragmentado,

cultivos transitorios y mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales aunque no evidenciaron una relación con la aparición de casos de dengue en la zona de estudio, son consideradas importantes debido a que en otros escenarios la modificación de los ecosistemas naturales han influido en la presencia y distribución de algunos vectores transmisores de enfermedades de importancia en salud pública.

Es el caso de estudios como el de Lamfri-et al (99) donde se plantea que la dinámica de la población de vectores o reservorios de la enfermedad, son determinados por elementos del paisaje que pueden ser medidos por sensores remotos como la temperatura y la vegetación y además concluye, que aunque el dengue es una enfermedad inicialmente tropical cuyas condiciones ideales para el ciclo de vida del vector y la transmisión del virus se dan entre los 0 y 1.000 m.s.n.m., su propagación actual avanza en zonas subtropicales con menores temperaturas (mayor altitud) y menores coberturas vegetales lo que contrasta con los resultados obtenidos en esta investigación ya que en primer lugar, los reportes de casos se dieron en municipios con altitudes promedio que van hasta los 2.500 m.s.n.m. y en segundo lugar hubo una variación importante en las coberturas vegetales para la zonas de estudio analizadas.

Finalmente, se debe tener en cuenta que aunque solo se tomaron 4 años de estudio se muestra una tendencia de coberturas vegetales y terrestres que es significativa para la zona y esta se podría precisar en cuanto a los resultados si se tomase un análisis anual mediante la utilización del método de clasificación supervisada en campo (apoyada de la clasificación visual) para establecer con mayor detalle el comportamiento de estas coberturas y su relación con los casos de dengue presentados a nivel regional y municipal y aportar a una mejor gestión por parte de los tomadores de decisiones.

11. Conclusiones

La región del valle de San Nicolás, es considerada el epicentro del tejido empresarial de todo el oriente antioqueño con un alto desarrollo de la urbanización en el campo y parcelaciones de recreo, que a través del tiempo se ha convertido en un riesgo para la riqueza ambiental y paisajística por procesos como la deforestación (96). Tales cambios han generado una variación significativa de las áreas boscosas y las áreas en cultivos configurándose como un aspecto importante dentro de la dinámica de la región.

Se tiene que a partir de la declaratoria de las zonas protegidas en la región del Valle de San Nicolás en los municipios de influencia donde se venía presentando una disminución notable del *Bosque Denso* empezó a verse una recuperación de estas áreas especialmente entre el año 2015 y 2019.

Al realizar los modelos lineales que relacionaban los casos y las coberturas y su posterior análisis, dentro de las limitaciones presentes se tuvo que para el año 2019 no se encontraron reportes de casos de dengue de los municipios de El Retiro, Guarne, La Unión, San Vicente y Santuario en la base de datos del SIVIGILA, ni tampoco en el Anuario Estadístico de Antioquia que solo se encuentra disponible hasta el año 2018, además en cuanto a las coberturas analizadas no se pudo realizar una verificación en campo debido a la situación en la que se encuentra el país debido a la contingencia sanitaria causada por el SARS-CoV-2.

El resultado del valor p en el análisis de casos de dengue y las *Zonas Urbanizadas* es estadísticamente significativo lo cual puede ser debido al aumento de estas áreas y con ello mayor densidad de población (y mayor cantidad de casos) que a su vez también influye en la disminución de la cobertura de *Bosque Denso* con un valor p del 9%. Se observa mayor cantidad de casos en aquellos municipios donde a partir del año 2007 y hasta 2019 las *Zonas Urbanizadas* han aumentado considerablemente como es el caso del municipio de Rionegro.

Estudios como este donde se utiliza el sensoramiento remoto asociado a la salud pública plantea una herramienta útil para los tomadores de decisiones debido a que les permite tener una herramienta espacial en tiempo real de los cambios de sus coberturas que se han asociado históricamente la aparición y desarrollo de enfermedades como el dengue.

12. Recomendaciones

Este estudio presenta una herramienta de uso gratuito para el monitoreo de los cambios de cobertura en los diferentes municipios, los resultados pueden mejorar realizando clasificación supervisada en terreno lo cual se podría realizar después de la superación de la contingencia sanitaria generada por el SARS-CoV 2.

Se recomienda además ampliar el estudio para cada uno de los años anteriores debido a que hay antecedentes para la zona de la aplicación de políticas públicas que se conoce han influido de manera importante en esta región permitiendo un desarrollo acelerado de varios sectores de la economía como por ejemplo la prestación de servicios y que han generado de manera positiva y/o negativa diferentes cambios en las coberturas presentes en la región del Valle de San Nicolás.

Es importante, georreferenciar los casos reportados en cada uno de los municipios para establecer si estos corresponden a las cabeceras municipales o a las zonas rurales, además de agregar otros elementos como por ejemplo: si son casos propios del municipio o por el contrario son importados de otros lugares, esto para identificar qué otros factores estarían implicados en la aparición de casos de dengue para la zona de interés.

Estudios como este plantea la importancia de que los planificadores en las diferentes escalas territoriales realicen un seguimiento detallado de los cambios en las diferentes coberturas de la región del Valle de San Nicolás dado su desarrollo actual y futuro potencial como la principal subregión de Antioquia, pues estos podrían agudizar la aparición de casos de dengue en la zona convirtiéndose en un grave problema de salud pública.

13. Referencias Bibliográficas

1. Gónima L, Meza-Ballesta A. Influencia del clima y de la cobertura vegetal en la ocurrencia del Dengue (2001-2010). Rev Salud Pública [Internet]. 2014;16(2):293-306. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v16n2/v16n2a12.pdf>
2. Organización Panamericana de la Salud Paraguay, Organización Mundial de la Salud. Dengue: «Es preocupante que la prevalencia mundial se haya incrementado dramáticamente en la última década» [Internet]. Organización Panamericana de la Salud Paraguay. [citado 11 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.paho.org/par/index.php?option=com_content&view=article&id=442:dengue-preocupante-que-prevalencia-mundial-haya-incrementado-dramaticamente-ultima-decada&Itemid=258
3. Andrade-Ochoa S, Chacón-Vargas K, Rivera-Chavira B, Sánchez-Torres L. Enfermedades transmitidas por vectores y cambio climático. Investig Cienc [Internet]. 2017 [citado 6 de junio de 2020];25(72). Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/674/67453654012/html/index.html>
4. Costa-Abreu J, Collins da cunha D, Ferrari-Torella L, Bertagna R, Wagner-Laurenço. Avaliação do impacto ambiental causado pelas alterações espaço temporal do uso do solo e da cobertura vegetal utilizando o modelo das cadeias de Markov. Ciência e Nat [Internet]. 2016;38:115-24. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4675/467546196010.pdf>
5. Galicia L, Garcia A, Gómez L, et al. Cambio de uso del suelo y degradación ambiental. Rev Cienc [Internet]. 2007 [citado 11 de septiembre de 2019];58. Disponible en: <https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/index.php/ediciones-antteriores/82-vol-58-num-4-octubre-diciembre-2007/comunicaciones-libres/135-cambio-de-uso-del-suelo-y-degradacion-ambiental>
6. La Vanguardia. Deterioro ambiental genera un costo anual de 3.5% del PIB. La Vanguardia [Internet]. 13 de mayo de 2014 [citado 15 de marzo de 2020]; Disponible en: <https://www.vanguardia.com/colombia/deterioro-ambiental-genera-un-costo-anual-de-35-del-pib-FEVL259826>
7. D'Amato G, Vitale C, Rosario N, Chong H, Chong-Silva D, Mendonça F, et al. Climate change, allergy and asthma, and the role of tropical forests. World Allergy Organ J [Internet]. 2017;10(1). Disponible en: chrome-extension://dagcmkpagjlhakfdhnbomgmjdpkdklff/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Fwww.ncbi.nlm.nih.gov%2Fpmc%2Farticles%2FPMC5340022%2Fpdf%2F40413_2017_Article_142.pdf
8. Searchinger T, Wiersenius S, Beringer T, Dumas P. Assessing the efficiency of changes in land use for mitigating climate change. Nature [Internet].

2018;564(7735):249-53. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/s41586-018-0757-z>

9. Bizerra F. La deforestación incrementa el riesgo de nuevas enfermedades [Internet]. Posibl. [citado 26 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.posibl.com/es/news/medio-ambiente/la-deforestacion-incrementa-el-riesgo-de-nuevas-enfermedades-1eb077c9>
10. Useros-Fernández J. El Cambio Climático: sus causas y efectos medioambientales. Real Acad Med y Cirugía Valladolid. 2013;50:71-98.
11. Rosas-Pérez, Carranza-Ortiz G, Nava-Cruz Y, Larqué-Saavedra A. La percepción sobre la conservación de la cobertura vegetal [Internet]. México; [citado 29 de febrero de 2020]. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/508/percepcion.pdf>
12. OMS. Cada año mueren 12,6 millones de personas a causa de la insalubridad del medio ambiente [Internet]. OMS. 2016 [citado 15 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/detail/15-03-2016-an-estimated-12-6-million-deaths-each-year-are-attributable-to-unhealthy-environments>
13. Shetty P. Cambio climático y enfermedades transmitidas por insectos: la esencia. SciDevNet [Internet]. 9 de septiembre de 2009 [citado 12 de junio de 2020]; Disponible en: https://www.scidev.net/americas-latina/malaria/especial/cambio-clim-tico-y-enfermedades-transmitidas-por-i.html?__cf_chl_jschl_tk__=b19c512deb20f9180b401ad085943e13d45b843a-1591986279-0-Ac8Yrf3rzTZMsloaM-C-UG4MihR3WxdJ94NYJb-KV0gNiGHp-ZXxU8odD7c0Fv0O2JVZdt
14. Franklins LHV, Jones KE, Redding DW, Abubakar I. The effect of global change on mosquito-borne disease. Lancet Infect Dis [Internet]. 2019;19(9):e302-12. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S1473-3099\(19\)30161-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1473-3099(19)30161-6)
15. Quiroga-González M, Nuñez-Camargo D. Efectos de los factores ambientales en la incidencia en enfermedades respiratorias. Linea Vida [Internet]. 2014 [citado 28 de mayo de 2020];2:5. Disponible en: <https://revia.areandina.edu.co/index.php/Kk/article/view/746>
16. Bauch S, Birkenbach A, Pattanayak S, Sills E. Public health impacts of ecosystem change in the Brazilian Amazon. Proc Natl Acad Sci U S A. 2015;112(24):7414-9.
17. Wolfe N, Daszak P, Kilpatrick AM, Burke D. Bushmeat hunting, deforestation, and prediction of zoonotic disease emergence. Emerg Infect Dis. 2005;11(12):1822-7.
18. Pla A. Menos árboles y más enfermedades. Revista Espores La veu del

- Botànic [Internet]. 2015 [citado 29 de febrero de 2020]; Disponible en: <https://espores.org/es/es-conservacion/menos-arboles-y-mas-enfermedades/>
19. Wilcox BA, Ellis B. Los bosques y la aparición de nuevas enfermedades infecciosas en los seres humanos [Internet]. FAO. [citado 1 de marzo de 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/009/a0789s/a0789s03.pdf>
 20. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Los bosques y la salud humana. *Unasylva*. 2006;57(224).
 21. Guzmán O. Causas del Covid-19: deforestación, contaminación y pérdida de biodiversidad [Internet]. *El Tiempo*. 2020. Disponible en: <https://www.elmundo.cr/mundo/causas-del-covid-19-deforestacion-contaminacion-y-perdida-de-biodiversidad/>
 22. Arredondo-García J, Mendez-Herrera A, Medina-Cortina H. Arbovirus en Latinoamérica. *Acta Pediátrica México* [Internet]. 2016;37(2):111-31. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/apm/v37n2/2395-8235-16-37-02-00111.pdf>
 23. Castrillón J, Castaño J, Urcuqui S. Dengue en Colombia: Diez años de evolución. *Rev Chil Infectol* [Internet]. 2015;32(2):142-9. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rci/v32n2/art02.pdf>
 24. Martínez E. Dengue. *Estud Avancados* [Internet]. 2008;22(64):33-52. Disponible en: <https://www.scielo.br/pdf/ea/v22n64/a04v2264.pdf>
 25. Ccanto-Torres E. Detección de la deforestación en tiempo casi real mediante GRASS GIS e imágenes MODIS. *Univ Nac Córdoba Argentina*. 2016;167.
 26. Parra-Henao G. Sistemas de información geográfica y sensores remotos. Aplicaciones en enfermedades transmitidas por vectores. *Rev CES Med* [Internet]. 2010;24:75-89. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2611/261119512006.pdf>
 27. Acosta-Cardona L. Evaluación de factores ambientales y climáticos como elementos de riesgo asociados con la transmisión del dengue y la leishmaniasis a diferentes escalas temporales y espaciales en Colombia [Internet]. Universidad Nacional de Colombia; 2015. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/51401/1/32295880.2016.pdf>
 28. Heras C, Sierra-Moros M. Enfermedades transmitidas por vectores. Un nuevo reto para los sistemas de vigilancia y la salud pública. *Gac Sanit* [Internet]. 2016;30(3):167-9. Disponible en: <http://scielo.isciii.es/pdf/gsv30n3/editorial.pdf>
 29. Grau HR, Aide M. Globalization and land-use transitions in Latin America. *Ecol Soc*. 2008;13(2).

30. Organización Mundial de la Salud. Enfermedades transmitidas por vectores [Internet]. 2020. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases>
31. Banco Mundial. América Latina y el Caribe [Internet]. Banco Mundial- Datos. [citado 4 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/region/america-latina-y-el-caribe>
32. Vargas-Villamizar T, Rosales-Salas C. Pérdida de la cobertura vegetal y sus repercusiones ambientales y legales. *Geoenseñanza* [Internet]. 2014;19(1):61-79. Disponible en: http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/42301/articulo_4c.pdf?sequence=2&isAllowed=y
33. Shahzad-Sarfraz M, Tripathi N, Tipdecho T, Thongbu T, Kerdthong P, Souris M. Analyzing the spatio-temporal relationship between dengue vector larval density and land-use using factor analysis and spatial ring mapping. *BMC Public Health* [Internet]. 2012;12(1):1-19. Disponible en: <https://bmcpublichealth.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/1471-2458-12-853>
34. Husnina Z, Clements A, Wangdi K. Forest cover and climate as potential drivers for dengue fever in Sumatra and Kalimantan 2006–2016: a spatiotemporal analysis. *Trop Med Int Heal*. 2019;24(7):888-98.
35. Preidt R. ¿Si los trópicos no tienen árboles hay más mosquitos que portan enfermedades? [Internet]. HealthDay. 2017 [citado 11 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://consumer.healthday.com/espanol/diseases-and-conditions-information-37/dengue-fever-967/iquest-si-los-tr-oacute-picos-no-tienen-aacute-rboles-hay-m-aacute-s-mosquitos-que-portan-enfermedades-728197.html>
36. Organización Panamericana de la Salud. 2019, el año con más casos de dengue en la historia regional Los casos de dengue en las Américas superaron los 3 millones en 2019 [Internet]. Organización Panamericana de la Salud. 2020. Disponible en: https://www.paho.org/col/index.php?option=com_content&view=article&id=3334:2019-el-ano-con-mas-casos-de-dengue-en-la-historia-regional-los-casos-de-dengue-en-las-americas-superaron-los-3-millones-en-2019&Itemid=487
37. Padilla J, Lizarazo F, Murillo O, Mendigaña F, Pachón E, Vera M. Epidemiología de las principales enfermedades transmitidas por vectores en Colombia, 1990-2016. *Biomedica* [Internet]. 2017;37:27-40. Disponible en: <https://revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/3769/3688>
38. Padilla J, Rojas D, Sáenz-Gómez R. Dengue en Colombia. Epidemiología de la reemergencia a la hiperpandemia [Internet]. 2012. 281 p. Disponible en:

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/INV/Dengue en Colombia.pdf>

39. Secretaria Seccional de Salud de Antioquia. Análisis de Situación de Salud Departamento de Antioquia. Gobernación de Antioquia. 2019.
40. Instituto Nacional de Salud. BES. Comportamiento de los Arbovirus [Internet]. Boletín Epidemiológico Semanal. 2020. Disponible en: https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/BoletinEpidemiologico/2020_Boletin_epidemiologico_semana_41.pdf
41. Noticias Caracol. En 2020 se ha deforestado en Colombia el equivalente a 29 veces la isla de San Andrés [Internet]. Noticias Caracol. 2020. Disponible en: <https://noticias.caracoltv.com/colombia/en-2020-se-ha-deforestado-en-colombia-el-equivalente-a-29-veces-la-isla-de-san-andres>
42. Vogt V. En 35 años podrían desaparecer los bosques andinos de Antioquia [Internet]. El Tiempo. 2018 [citado 15 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/colombia/medellin/en-35-anos-podrian-desaparecer-los-bosques-andinos-de-antioquia-178160>
43. Alerta por 450 casos de dengue en Medellín en lo que va de 2020 [Internet]. Semana. 2020. Disponible en: <https://www.semana.com/nacion/articulo/colombia-hoy-medellin-en-alerta-por-450-casos-de-dengue-en-lo-corrido-del-ano/682660/>
44. Londoño-Soto A. Cambios en el uso del suelo en el Altiplano (Oriente Antioqueño-Colombia) en los últimos 25 años [Internet]. 2012. Disponible en: https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/1782/0274_Londoño.pdf?sequence=1
45. Semana Sostenible. El oriente antioqueño está creciendo de forma desordenada [Internet]. Revista Semana. 2017 [citado 15 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/el-oriente-antioqueno-esta-creciendo-de-forma-desordenada/38704>
46. Álvarez-Correa V. Así se planifica la transformación del Oriente cercano de Antioquia [Internet]. El Colombiano. 2016 [citado 15 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.elcolombiano.com/antioquia/obras/transformacion-del-oriente-cercano-de-antioquia-ya-tiene-hoja-de-ruta-FH4867142>
47. Argos. El Oriente Antioqueño es el futuro de Medellín [Internet]. Grandes Generalidades . 2017 [citado 12 de junio de 2020]. Disponible en: <http://grandesrealidades.argos.co/oriente-antioqueno-futuro-medellin/>
48. Cabezas L, Cabanzo W, Santa F, Olano VA, Sarmiento D, Vargas S, et al.

- Distribución espacial del mosquito *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) en el área rural de dos municipios de Cundinamarca, Colombia. *Biomedica* [Internet]. 2017;37:1-30. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bio/v37s2/0120-4157-bio-37-s2-00041.pdf>
49. OPS, OMS. Vectores: Manejo Integrado y Entomología en Salud Pública [Internet]. Organización Panamericana de la Salud . [citado 12 de junio de 2020]. Disponible en: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=13315:vectors-public-health-entomology&Itemid=42362&lang=es
 50. Colfer C, Sheil D, Kaimowitz D, Kishi M. Los bosques y la salud humana en las zonas tropicales: algunas conexiones importantes. *Unasylva Rev Int Silvicultura e Ind For* [Internet]. 2006;52(224):3. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/009/a0789s/a0789s00.htm>
 51. CEPAL. Valorando la naturaleza: Beneficios De Las Áreas Protegidas [Internet]. Cepal. 2008. Disponible en: <https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/1/35691/Valorandolanaturaleza.pdf>
 52. Contraloría General de Antioquia. Informe de los recursos naturales y medio ambiente [Internet]. 2018. Disponible en: <http://www.cga.gov.co/ProcesosMisionales/Auditoriaintegral/Informes/Informe Recursos Naturales 2018.pdf>
 53. Medio Ambiente. Coronavirus en el mundo: Detener la deforestación, clave para evitar pandemias [Internet]. *Semana Sostenible*. 2020 [citado 12 de junio de 2020]. Disponible en: <https://sostenibilidad.semama.com/medio-ambiente/articulo/coronavirus-en-el-mundo-detener-la-deforestacion-clave-para-evitar-pandemias/50690>
 54. Santos-López G, Vallejo-Ruiz V, Rendón-González L, Reyes-Leyva J. Factores determinantes en el surgimiento y resurgimiento de infecciones virales. *Interciencia* [Internet]. 2011 [citado 12 de junio de 2020];36(1):22-30. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/339/33917727004.pdf>
 55. Da Silva C, Insaurralde J, Cardozo O. Cartografía de coberturas del suelo mediante sensores remotos, de la ciudad de Resistencia, Argentina (2013). *Geográfica Digit* [Internet]. 2017;11(21):1. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/158837026.pdf>
 56. Gil-Leguizamón P, Morales-Puentes M. Información espacial, herramientas de análisis en la transformación de las coberturas vegetales. *Ing e Innovación* [Internet]. 2016;4(2):16. Disponible en: <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/rii/article/view/1176>
 57. Ibarra-Montoya J, Roman R, Gutiérrez K, Gaxiola J, Arias V, Maximiliano B.

- Cambio en la cobertura y uso de suelo en el norte de Jalisco, México: Un análisis del futuro, en un contexto de cambio climático. *Rev Ambient e Agua* [Internet]. 2011;6(2):111-29. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582018000100006&lng=pt&nrm=iso
58. Peña J, Poveda R, Bonet A, Bellot J, Escarré A. Cartografía de las coberturas y usos del suelo de la Marina Baixa (Alicante) para 1956, 1978 y 2000. *Investig Geográficas* [Internet]. 2005;37:93-107. Disponible en: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/274/3/Peña-Cartografia de las coberturas.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/274/3/Peña-Cartografia_de_las_coberturas.pdf)
 59. Burstein T. Sistemas de Información Geografica y su aplicación a la Salud Pública. *Rev Peru Med Exp* [Internet]. 2002;19(3):107. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v19n3/a01v19n3.pdf>
 60. Niño L. La zonificación del riesgo en salud: La fiebre amarilla desde una perspectiva geográfica en La Macarena, departamento del Meta, Colombia. *Salud Colect* [Internet]. 2018;14(1):19-32. Disponible en: <https://www.scielosp.org/pdf/scol/2018.v14n1/19-32/es>
 61. IDEAM. Coberturas de la Tierra [Internet]. [citado 14 de octubre de 2019]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-tierra>
 62. Conservación Internacional Perú. ¿Que es REDD+? [Internet]. 2019. Disponible en: <https://www.conservation.org/peru/novedades/2019/10/29/qué-es-redd>
 63. Suárez-Parra K, Cély-Reyes G, Forero-Ulloa F. Validación de la metodología Corine Land Cover (CLC) para determinación espacio-temporal de coberturas: caso microcuenca de la quebrada Mecha (Cómbita, Boyacá), Colombia. *Biota Colomb* [Internet]. 2016;17(1):1-15. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/491/49148412001.pdf>
 64. Geoinstitutos. Cobertura vegetal [Internet]. [citado 14 de octubre de 2019]. Disponible en: http://www.geoinstitutos.com/art_03_cober2.asp
 65. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Monitoreo de la cobertura de suelo de escala nacional a continental [Internet]. [citado 14 de octubre de 2019]. Disponible en: https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/cobertura_suelo/
 66. Correa-Valencia J. Análisis multitemporal de coberturas y usos del suelo: transformaciones ambientales a través del tiempo en Armenia, Quindío. Vol. 1. 2018.
 67. Medellín P. Uso del suelo. Pulso, Diario de San Luis [Internet]. 2002;4a. Disponible en: <http://ambiental.uaslp.mx/docs/PMM-AP021114.pdf>

68. Asociación Nacional de Industriales. Normatividad urbana y uso del suelo [Internet]. [citado 9 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://proyectos.andi.com.co/es/GAI/GuiInv/CPR/Paginas/NUUS.aspx>
69. Organización Mundial de la Salud. Información sobre las enfermedades transmitidas por vectores [Internet]. Campañas mundiales de Salud Pública de la OMS. 2014. Disponible en: <https://www.who.int/campaigns/world-health-day/2014/vector-borne-diseases/es/>
70. Organización Mundial de la Salud. Dengue y Dengue Grave [Internet]. Organización Mundial de la Salud. 2020. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/dengue-and-severe-dengue>
71. Montero G. Biología de *Aedes aegypti*. Blog FCA, UNR [Internet]. 2009;1-4. Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/fauna/79-Aedes_aegypti.pdf
72. Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades. Dengue [Internet]. CDC US. [citado 11 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/dengue/es/index.html>
73. Galeana-Pizaña J, Corona-Romero N, Ordoñez-Díaz J. Análisis dimensional de la cobertura vegetal-uso de suelo en la Cuenca del Río Magdalena. *Rev Cienc For en México*. 2009;34:137-58.
74. Veloza-Torres J. Análisis multitemporal de las coberturas y usos del suelo de la Reserva Forestal Protectora-Productora «Casablanca» en madrid Cundinamarca entre los años 1961 y 2015: Aportes para el Ordenamiento Territorial Municipal. 2017.
75. Volaya. Historia de los SIG [Internet]. [citado 14 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://volaya.github.io/libro-sig/chapters/Historia.html>
76. Lozano-Fuentes S, Elizondo-Quiroga D, Farfán-Alé J, Loroño-Pino M, García-Rejon J, Gómez-Carro S, et al. Uso de Google Earth™ para fortalecer la capacidad de salud pública y facilitar la gestión de las enfermedades de transmisión vectorial en entornos con recursos escasos. *Boletín la Organ Mund la Salud* [Internet]. 2008;86:657-736. Disponible en: <https://www.who.int/bulletin/volumes/86/9/07-045880-ab/es/>
77. Mejía-Ríos S. Factores ambientales asociados a la agresión y los homicidios en Medellín, 2015. Vol. 01, Facultad Nacional de Salud Pública. 2017.
78. Chain Global. ¿Que és la georreferenciación? [Internet]. [citado 14 de octubre de 2019]. Disponible en: <http://dchain.com/que-es-la-georreferenciacion/>
79. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Marco Geocéntrico Nacional de Referencia, Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas- MAGNA-

- SIRGAS [Internet]. [citado 15 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.igac.gov.co/es/contenido/areas-estrategicas/magna-sirgas>
80. Teledet. ¿Qué es la Percepción Remota? [Internet]. [citado 14 de octubre de 2019]. Disponible en: <http://www.teledet.com.uy/quees.htm>
 81. Hay SI. An overview of remote sensing and geodesy for epidemiology and public health application. *Adv Parasitol.* 2000;47(May 2000):1-35.
 82. Percepción remota en la evaluación de peligros naturales [Internet]. [citado 14 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch09.htm#d>. aplicación de tecnologías de percepción remota a evaluac
 83. De la Cruz-Burgos J, Muñoz-García G. Análisis multitemporal de la cobertura vegetal y cambio de uso del suelo del área de influencia del programa de reforestación de la Federación Nacional de Cafeteros en el municipio de Popayán, Cauca. [Internet]. Universidad de Manizales. 2016. Disponible en: http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2807/DeLaCruz_Burgos_Jenni_2016.pdf.pdf?sequence=3&isAllowed=ybalization_Report_2018.pdf%0Ahttp://eprints.lse.ac.uk/43447/1/India_globalisation%2C_society_and_inequalities%28Isero%29.pdf%0Aht
 84. Ariza A. Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission). *Cent Investig y Desarro en Inf Geográfica del IGAC -CIAF* [Internet]. 2013;46. Disponible en: <https://un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>
 85. Características de los satélites Sentinel [Internet]. MASTERGIS. 2019 [citado 27 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.mastergis.com/caracteristicas-sentinel/>
 86. Copernicus [Internet]. SENER Aeroespacial. [citado 27 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.aeroespacial.sener/productos/copernicus#:~:text=Copernicus es el programa de,más ambicioso hasta la fecha.&text=Cada misión de Sentinel se,para los Servicios de Copernicus>.
 87. Copernicus. The Corine Land Cover [Internet]. [citado 15 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>
 88. Corredor-Gil L, Cárdenas-Quiroga E, Ordoñez-López J. Aplicación de la tecnología CORINE Land Cover en la determinación de los cambios de cobertura en el parque natural los Flamencos. *Cienc e Ing Neogranadina* [Internet]. 2011 [citado 1 de octubre de 2019];21(2):153-67. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/911/91123440008.pdf>
 89. Cámara de Comercio del Oriente Antioqueño. Oriente Antioqueño [Internet]. [citado 10 de noviembre de 2019]. Disponible en:

[http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/74967/Troyo et al._Urban structure and dengue Puntarenas_Singapore journal of tropical geography_2009.pdf?sequence=1](http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/74967/Troyo%20et%20al._Urban%20structure%20and%20dengue%20Puntarenas_Singapore%20journal%20of%20tropical%20geography_2009.pdf?sequence=1)

99. Lamfri M, Quevedo S, Solano E, Rotela C, Scavuzzo M. Análisis regional de la difusión del dengue en sudamérica. [Internet]. internet. Disponible en: https://pep.unc.edu.ar/wp-content/uploads/sites/68/2018/01/2008_Lanfri-et-al-Análisis-regional-de-la-difusión-del-Dengue-en-Sudamérica.pdf