EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE COBERTURAS DE LA TIERRA Y EFECTO DE LA EXPANSIÓN DE LA PALMA DE ACEITE EN EL MUNICIPIO DE SAN CARLOS DE GUAROA, META

WENDY JULIETH ACOSTA RODRÍGUEZ
ERIKA NAILETH CASALLAS GARZÓN

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE RECURSOS NATURALES
BOGOTÁ D.C.
2019

EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE COBERTURAS DE LA TIERRA Y EFECTO DE LA EXPANSIÓN DE LA PALMA DE ACEITE EN EL MUNICIPIO DE SAN CARLOS DE GUAROA, META

Trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de Especialistas en Gerencia de Recursos Naturales

WENDY JULIETH ACOSTA RODRÍGUEZ
ERIKA NAILETH CASALLAS GARZÓN

Tutor
ALEJANDRO COPETE PERDOMO

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE RECURSOS NATURALES
BOGOTÁ D.C.
2019

NOTA DE LA UNIVERSIDAD

“Este trabajo hace parte de las investigaciones realizadas por la Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Sin embargo, las ideas emitidas por el autor son de exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente opiniones de la Universidad” (Artículo 117, Acuerdo 029 de 1998).

Nota de aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Alejandro Copete Perdomo

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN **5**

INTRODUCCIÓN **6**

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **8**

2 JUSTIFICACIÓN **10**

3 OBJETIVOS **12**

3.1 OBJETIVO GENERAL 12
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 12

4 MARCO DE REFERENCIA **13**

4.1 ANTECEDENTES 13
4.2 ASPECTOS GENERALES 14
4.2.1 Orinoquía colombiana *14*
4.2.2 Palma de aceite *15*
4.2.3 Metodología CORINE Land Cover *17*
4.2.4 Pérdida de cobertura forestal *17*
4.2.5 Capacidad de uso de las tierras *18*
4.2.6 Vocación de uso de las tierras *19*
4.2.7 Conflictos de uso del suelo *20*
4.2.8 Frontera agrícola nacional *21*
4.2.9 Análisis multitemporal *21*
4.2.9.1 Imágenes satelitales 22
4.2.9.1.1 Landsat 22
4.2.9.1.2 Sentinel 2 22
4.2.9.2 Procesamiento digital de imágenes 23
4.2.9.2.1 Clasificación supervisada 23
4.3 MARCO NORMATIVO 23

5 METODOLOGÍA **25**

5.1 ANÁLISIS MULTITEMPORAL (FASE DIAGNOSTICO) 25
5.1.1 Gestión de información geográfica (Fuentes secundarias) *26*
5.1.2 Procesamiento digital de las imágenes satelitales. *28*
5.1.3 Verificación de coberturas *28*
5.1.4 Clasificación supervisada (años 1990 y 2019). *33*
5.1.5 Interpretación de coberturas y análisis multitemporal *33*
5.2 IDENTIFICACIÓN CONFLICTOS DE USO DEL SUELO Y PROPUESTA DE USO RECOMENDADO (FASE PROPUESTA) 33
5.2.1 Caracterización biofísica del municipio *34*
5.2.2 Identificación de la Capacidad de uso de la tierra *34*
5.2.3 Identificación de la Vocación de uso de la tierra *34*
5.2.4 Identificación de la Frontera agrícola nacional *35*
5.2.5 Identificación de conflictos de uso del suelo *35*
5.2.6 Propuesta de uso recomendado del suelo *35*
5.2.7 Análisis comparativo beneficio-costo *36*

6 RESULTADOS **37**

6.1 ANÁLISIS MULTITEMPORAL 37
6.2 IDENTIFICACIÓN CONFLICTOS DE USO Y PROPUESTA DE USO RECOMENDADO DEL SUELO 45
6.2.1 Caracterización biofísica del municipio San Carlos de Guaroa *45*
6.2.1.1 Clima 46
6.2.1.1.1 Brillo solar 47
6.2.1.2 Geología 47

6.2.1.3 Geomorfología 48
6.2.1.4 Suelos 49
6.2.1.5 Pendientes 53
6.2.1.6 Grandes Biomas y Biomas continentales 54
6.2.1.7 Hidrografía 54
6.2.1.8 Aguas Subterráneas 55
6.2.2 Capacidad de uso de la tierra 56
6.2.3 Vocación de uso de la tierra 60
6.2.4 Frontera agrícola de Colombia 63
6.2.5 Identificación de conflictos de uso del suelo 65
6.2.6 Propuesta de uso recomendado del suelo 69
6.2.7 Análisis comparativo beneficio-costo 71
7 DISCUSIÓN DE RESULTADOS 80
8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 81
9 BIBLIOGRAFÍA 83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información general Imágenes Satelitales 26
Tabla 2. Puntos de verificación de coberturas en campo. 29
Tabla 3. Coberturas definidas para la clasificación 33
Tabla 4. Resultados análisis multitemporal. 37
Tabla 5. Descripción de Coberturas de la tierra 41
Tabla 6. Características climatológicas de San Carlos de Guaroa. 46
Tabla 7. Brillo solar San Carlos de Guaroa. 47
Tabla 8. Unidades geológicas presentes en San Carlos de Guaroa. 48
Tabla 9. Unidades geomorfológicas de San Carlos de Guaroa. 48
Tabla 10. Características de los suelos de San Carlos de Guaroa. 51
Tabla 11. Pendientes San Carlos de Guaroa 53
Tabla 12. Grandes biomas y biomas continentales San Carlos de Guaroa. 54
Tabla 13. Cuencas y subcuencas hidrográficas San Carlos de Guaroa. 54
Tabla 14. Capacidad de uso de la tierra en el municipio San Carlos de Guaroa. 57
Tabla 15. Vocación de uso de la tierra en el municipio San Carlos de Guaroa. 60
Tabla 16. Frontera agrícola nacional para el municipio San Carlos de Guaroa. 63
Tabla 17. Conflictos de uso del suelo, municipio San Carlos de Guaroa. 65
Tabla 18. Coberturas de la tierra ajustadas, San Carlos de Guaroa. 67
Tabla 19. Usos recomendados del suelo, municipio San Carlos de Guaroa. 69
Tabla 20. Productividad del cultivo de palma de aceite en relación con la edad. 71
Tabla 21. Beneficio-costo de las principales actividades económicas en relación con la prestación de servicios ecosistémicos de los bosques naturales. 78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Desarrollo del cultivo de palma. 15
Figura 2. Resumen Metodología (Primera parte) 25
Figura 3. Imágenes satelitales utilizadas para el análisis multitemporal. 27
Figura 4. Mapa de puntos de verificación de coberturas de la tierra en San Carlos de Guaroa. 29
Figura 5. Resumen Metodología (Segunda parte). 34
Figura 6. Mapa de coberturas de la tierra municipio San Carlos de Guaroa año 1990. 39
Figura 7. Mapa de coberturas de la tierra municipio San Carlos de Guaroa año 2019. 40
Figura 8. Extensión de cada clase de cobertura de la tierra en los periodos evaluados. 43
Figura 9. Actividades agrícolas de San Carlos de Guaroa. 44
Figura 10. Mapa de localización del área evaluada, municipio San Carlos de Guaroa. 46
Figura 11. Mapa de geomorfología San Carlos de Guaroa. 49

Figura 12. Mapa de suelos San Carlos de Guaroa. 50
Figura 13. Mapa de Pendientes San Carlos de Guaroa. 53
Figura 14. Sistema acuífero en San Carlos de Guaroa. 55
Figura 15. Mapa de capacidad de uso del suelo, municipio San Carlos de Guaroa. 59
Figura 16. Mapa de vocación de uso del suelo, Municipio San Carlos de Guaroa. 62
Figura 17. Mapa de Frontera agrícola nacional, Municipio San Carlos de Guaroa. 64
Figura 18. Distribución de los conflictos de uso del suelo, Municipio San Carlos de Guaroa. 65
Figura 19. Mapa de conflictos de uso del suelo, municipio San Carlos de Guaroa. 66
Figura 20. Mapa de coberturas de la tierra. 68
Figura 21. Mapa de usos recomendados del suelo, municipio San Carlos de Guaroa. 70
Figura 22. Productividad del cultivo de palma de aceite según edad por Zona. 71
Figura 23. Participación de actividades en el costo total de los cultivos E. guineensis en 2015. 72
Figura 24. Precios anuales ACP en Colombia. 73
Figura 25. Rubros costos de producción arroz a nivel nacional. 74

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Cultivo de palma de aceite de 21 años de edad en el municipio de San Carlos de Guaroa. 16
Fotografía 2. Cultivos de palma de aceite en San Carlos de Guaroa, y sus Racimos de Fruta Fresca (RFF). 17

Resumen

El presente proyecto se llevó a cabo en el municipio de San Carlos de Guaroa, localizado en el noroccidente del departamento del Meta, Colombia, a fin de realizar un análisis multitemporal que permita identificar los principales cambios que ha sufrido el territorio en relación con el crecimiento de las plantaciones de palma de aceite, a lo largo del tiempo, específicamente en el periodo 1990 -2019. Además de esto, otro objetivo del proyecto es la formulación de una propuesta de uso del suelo para el municipio, que permita identificar los usos y actividades óptimas a desarrollar, mediante el planteamiento de usos potenciales y sostenibles.

En consecuencia, para cumplir los objetivos planteados, se desarrolló un análisis multitemporal basado en la clasificación de imágenes satelitales a fin de evaluar las dinámicas de cambio de coberturas en el territorio durante el periodo de tiempo establecido. De igual forma, para lograr la elaboración de la propuesta de uso recomendado se realizó la caracterización biofísica del territorio y la identificación de conflictos de uso con la finalidad de determinar si los cambios en la utilización del suelo, en relación con la expansión de los cultivos de palma de aceite, han generado afectaciones directas sobre la masa forestal del municipio o si por el contrario el crecimiento de estas plantaciones se ha dado sobre otras tierras agrícolas, tierras desnudas, pastizales o áreas sin vegetación.

Los resultados permitieron evidenciar que San Carlos de Guaroa se ha constituido a lo largo del tiempo como el municipio de Colombia con mayor superficie del cultivo de palma de aceite hasta la actualidad y, además, este cultivo comprende el eje fundamental de la economía en el municipio. Sin embargo, su expansión se presentó simultáneamente con procesos de pérdida de coberturas importantes como los bosques de galería y ripario y las sabanas naturales, las cuales prestan servicios ecosistémicos de soporte, regulación y provisión. Con base en estos resultados se propuso un modelo de uso recomendado que se compone de tres categorías: Áreas productivas, Áreas de protección y conservación y Áreas de desarrollo urbano, observándose que la mayor extensión es ocupada por las Áreas productivas debido a que las características biofísicas del municipio facilitan el desarrollo de estas actividades; a esta categoría le siguen las Áreas de conservación y protección y las Áreas de desarrollo urbano.

Los resultados obtenidos en el proyecto se encuentran enfocados no sólo para el municipio objeto de evaluación sino también para otras zonas a nivel nacional o global que pretendan relacionar las dinámicas que convergen en la evolución y modificación de un territorio, los procesos productivos que en este se llevan a cabo y la funcionalidad ecosistémica de los recursos naturales allí presentes, de manera que se logre en la medida de lo posible, una gestión apropiada de todos los factores vinculantes con el concepto de desarrollo sostenible en relación con el ordenamiento territorial.

Introducción

La palma de aceite es una planta tropical que puede encontrarse en estado silvestre, semisilvestre y en forma comercialmente cultivada, de cuyos frutos se obtienen a través de diferentes procesos industriales aceites y combustibles orgánicos; de todas las plantas oleaginosas existentes es la que produce mayor rendimiento de aceite por unidad de área, razón por la cual este cultivo es de gran importancia económica a nivel mundial. Actualmente en Colombia 160 municipios de 21 departamentos cultivan palma de aceite, reportándose 516.961 hectáreas sembradas donde a nivel nacional el departamento del Meta se posiciona como el primero en producción, siendo el municipio de San Carlos de Guaroa, ubicado en su jurisdicción, el que cuenta con el mayor número de hectáreas sembradas con este cultivo.

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente proyecto de investigación tuvo lugar en el municipio de San Carlos de Guaroa, localizado en el sector centro occidental del departamento del Meta y limitando al norte con Villavicencio y Puerto López, al occidente con Castila la Nueva y Acacías, al oriente con Puerto López y al sur con San Martín. Su cabecera municipal se encuentra a una altitud de 350 msnm, y su relieve está determinado por las planicies aluviales de los ríos Guamal, Metica, Acacías y Guayuriba, los cuales conforman los principales cuerpos de agua del municipio.

A través de este proyecto, desarrollado en el año 2019, se buscó determinar la analogía entre el cambio en las coberturas de la tierra y la ampliación del cultivo de palma de aceite para un periodo de análisis de 29 años entre 1990 y 2019; así mismo, con base en la caracterización actual de las coberturas de la tierra presentes en el municipio se procedió a identificar los conflictos de uso del suelo teniendo en cuenta aspectos clave como la capacidad de uso de la tierra, su vocación y los límites de la frontera agrícola nacional. Con base en estos resultados se generó una propuesta de uso del suelo para el área de evaluación; de igual forma, se realizó un análisis beneficio-costo entre estas actividades productivas en comparación con los bienes y servicios ambientales que los bosques naturales del municipio ofrecen en términos ambientales y sociales.

Lo anterior se llevó a cabo, en primer lugar, mediante un análisis multitemporal, utilizando imágenes satelitales Landsat 5 (año 1989), Landsat 8 (año 2018) y Sentinel 2 (año 2019) que posteriormente fueron procesadas empleando software como ERDAS IMAGINE 2014 y ARCGIS 10.5; así mismo, mediante el trabajo de campo y la verificación de coberturas de la tierra se logró la corroboración de algunas clases de coberturas presentes en el municipio para el año 2019. Finalmente se llevó a cabo la clasificación supervisada de las imágenes obtenidas para el área de estudio, donde se definieron nueve (9) clases de coberturas de la tierra de acuerdo a la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, y con los resultados obtenidos se procedió a realizar la interpretación de las coberturas y su respectivo análisis, identificando la pérdida o ganancia de cobertura y su distribución espacial en el territorio para el tiempo evaluado.

Posteriormente, en la segunda parte del proceso, se llevó a cabo la caracterización biofísica del municipio tomando como base información geográfica oficial sobre la división político administrativa, climatología, geomorfología, suelos, pendientes, biomas, hidrografía y aguas subterráneas; una vez tenidos estos resultados y mediante el uso de la cartografía oficial nacional oficial sobre la capacidad de uso de las tierras de Colombia, la clasificación de las tierras por su vocación de uso, la frontera agrícola nacional y los conflictos de uso del suelo (todas a escala 1:100.000) se procedió a identificar estos aspectos para San Carlos de Guaroa, generando como resultados las respectivas salidas gráficas y tablas con la distribución espacial de los datos allí obtenidos. Por último, se definieron los usos recomendados del suelo considerando todos los resultados anteriormente adquiridos, la identificación de las actividades económicas predominantes en el municipio así como los lineamientos establecidos en el Esquema de Ordenamiento Territorial vigente en relación con el mantenimiento de la estructura ecológica principal; a fin de determinar la relación beneficio-costo del desarrollo de dichas actividades productivas se llevó a cabo una consulta bibliográfica sobre los datos oficiales de censos, series históricas, estudios económicos y estadísticas de las respectivas

Federaciones a fin de comparar entre estas actividades la productividad, rendimiento, los costos de producción, precios de venta, utilidad y generación de mano de obra en relación con la prestación de servicios ecosistémicos de los bosques naturales presentes en San Carlos de Guaroa, información que se obtuvo de reportes técnicos, artículos de investigación y resultados de estudios científicos y académicos.

Se espera que los resultados de este trabajo sirvan como herramienta que guíe el ordenamiento territorial de San Carlos de Guaroa u otras unidades jurisdiccionales hacia el mantenimiento del equilibrio entre la dimensión ambiental, social y económica, encaminando el área evaluada hacia un desarrollo sostenible o hacia una aproximación contemplando la evolución y transformación del territorio, las características del mismo en términos abióticos, bióticos, socioeconómicos y culturales, y la estimación de los beneficios y costos que conllevaría la ejecución de una u otra actividad, sea productiva o de conservación. Consideramos que el ordenamiento territorial es clave para lograr lo anteriormente expuesto, pero es de gran importancia que los individuos involucrados directa e indirectamente con el proceso cuenten con la información adecuada, verídica y en tiempo real a fin de que la formulación de los respectivos planes, programas y proyectos sea afín con el contexto y los escenarios actuales del territorio.

El presente documento está distribuido en nueve secciones; los primeros tres apartados describen en planteamiento del problema identificado y las preguntas de investigación formuladas durante la fase de diagnóstico, la justificación del proyecto y los respectivos objetivos que se desean lograr con su desarrollo. En la sección número cuatro se genera una descripción sobre los antecedentes del tema de investigación, los aspectos generales de los diversos temas que de traerán a colación y el respectivo marco normativo bajo el cual se ejecuta el proyecto. El apartado quinto corresponde a la metodología de desarrollo del proyecto y de los dos objetivos específicos que se persiguen a través de este y posteriormente, en la sección sexta se presentan los resultados obtenidos de acuerdo a los aspectos metódicos previamente mencionados. En la sección número siete se genera la discusión de resultados en relación con los antecedentes del tema de investigación encontrados y en la sección octava se exponen las conclusiones y recomendaciones identificadas con base en los resultados determinados. El último apartado corresponde a las referencias bibliográficas previamente citadas a lo largo de la ejecución del documento.

1 Planteamiento del problema

La entrada de la palma de aceite en Colombia tuvo lugar hacia 1932, aunque inicialmente su uso principal era netamente ornamental; posteriormente, en 1945 se desarrolló la primera plantación con fines comerciales en el departamento del Magdalena y desde entonces ha crecido de manera regular debido a la creación de la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma) en 1962, y al apoyo gubernamental al cultivo como consecuencia del incremento internacional en la demanda de los aceites vegetales. De esta manera, en Colombia las principales áreas destinadas al cultivo de palma de aceite se encuentran en la Zona Norte (departamentos de Magdalena, Cesar, Atlántico y Guajira), Zona Central (departamentos de Santander, Norte de Santander y Bolívar), Zona Oriental (departamentos de Meta, Cundinamarca, Casanare y Caquetá) y Zona Occidental (departamento de Nariño) (HREV, 2004), creciendo de manera considerable en las últimas décadas. De esta manera, la comercialización del aceite crudo de palma, de la oleína (utilizada para uso comestible), de la estearina (cuyo uso principal es la elaboración de cosméticos, jabones y detergentes) y de la torta de palmiste (utilizada en la preparación de alimentos para los animales), así como del biodiesel que se obtiene a partir de la transformación industrial del aceite crudo de palma, ha fomentado el incremento en el número de hectáreas sembradas no sólo a nivel nacional, sino también global siendo los principales exportadores Indonesia, Malasia, Países Bajos, Colombia y Alemania, mientras que los principales importadores son India, China, Pakistán, Países Bajos y España. En Colombia, el sector agropecuario representó en el año 2017 un aporte al PIB de 6,3 % (Banco de la República de Colombia, 2018) y como consecuencia, la siembra a gran escala de monocultivos como la palma de aceite ha dominado varios escenarios y paisajes del país.

Paralelamente, la alta demanda energética a nivel mundial ha fomentado el rápido crecimiento del sector de los biocombustibles, que han surgido como reemplazo potencial de los combustibles fósiles debido a que son considerados combustibles con emisiones neutras de dióxido de carbono, uno de los principales Gases de Efecto Invernadero (Ramos, 2013). De esta manera, a través de documento Conpes 3510 se establecen en 2008 los lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en el país en articulación con el Plan Nacional de Desarrollo de la época; no obstante, en este se menciona que dicha producción puede acarrear una serie de impactos sobre la biodiversidad y el ambiente, siendo los impactos negativos superiores a los positivos debido a que para su producción se requieren grandes extensiones de tierra, lo cual ha impulsado la expansión y el crecimiento de los cultivos de palma de aceite en el país. Dentro de las afectaciones negativas resaltan el cambio de uso del suelo, la pérdida de biodiversidad, degradación de las tierras, modificación en los patrones climáticos, cambios en las dinámicas hídricas locales, despojo territorial a comunidades nativas y desplazamiento de las mismas.

La degradación de los ecosistemas asociada a la pérdida de cobertura boscosa y a las crecientes tasas de deforestación se constituye como una problemática de orden global; según estimaciones de la FAO, anualmente se pierden más de 13 millones de hectáreas de bosque en todo el mundo, siendo las actividades antrópicas las principales causantes, especialmente debido a la conversión a tierras agropecuarias, la tala ilegal, la recolección insostenible de madera, la creación de asentamientos humanos y el desarrollo de diferentes obras de infraestructura (Victorino, 2012). En Colombia, los bosques suministran alrededor de 9 millones de toneladas de leña, prestan servicios de regulación y suministro de agua, permiten la recarga de acuíferos y constituyen el hábitat de un sinnúmero de especies animales y vegetales de gran importancia a nivel nacional; en el 2017 se registró un incremento de la superficie deforestada a nivel nacional del 23 % respecto del año anterior, concentrándose principalmente en las regiones Amazonía (65,5 %) y los Andes (17 %). Para dicho año, el 81 % de la pérdida de bosque natural se focalizó en sólo 6 departamentos, siendo el Caquetá el que representa mayor porcentaje con 27,6 % (IDEAM, 2018); en consecuencia, se pierde la relación de oxígeno, dióxido de carbono y humedad del aire, la protección de las cuencas hidrográficas, la biodiversidad, la conservación ecosistémica, la provisión de servicios ecosistémicos y la preservación de los valores culturales de las comunidades asociadas a las áreas afectadas (Pabón, y otros, 2008).

En consecuencia, se formulan las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cómo ha sido la transformación de las coberturas de la tierra en relación con el cultivo de palma de aceite en el municipio de San Carlos de Guaroa entre los años 1990 – 2019?
- ¿Cuál sería el uso recomendado del suelo en el municipio de San Carlos de Guaroa teniendo en cuenta las características del territorio?
- ¿Cuáles son las principales actividades económicas en el municipio, cuál es su relación beneficio costo en términos productivos y ambientales?
- ¿Qué recomendaciones de conservación se pueden plantear para evitar el deterioro de los recursos naturales?

2 Justificación

En Colombia durante el siglo XX la agricultura se consolidó como la fuente principal de crecimiento y desarrollo del país; no obstante, en los últimos 20 años el sector ha venido perdiendo importancia de manera acelerada a causa de los modelos de desarrollo del país y la baja productividad del mismo, registrando en 1965 una contribución del 25 % en el PIB, y en 2012 aportó el 6 % al mismo indicador. Adicionalmente, se considera el hecho de que a pesar de que la agricultura ha contribuido a la reducción en la pobreza en relación con otros países latinoamericanos, los avances en el sector siguen siendo insuficientes teniendo en cuenta que gran parte de la población rural del país vive en situación de pobreza; bajo este contexto, disminuir la brecha entre lo urbano y lo rural requiere de acciones que vayan más allá de la formulación de programas de desarrollo rural que involucren a la población que habita estos territorio, asegurando la atención a los hogares de los pequeños productores agropecuarios (Junguito, Perfetti, & Becerra, 2014). A pesar de lo anterior, la rápida expansión del cultivo de palma de aceite en el país (y en el mundo) ha incrementado la representatividad del sector agrícola, especialmente en algunos municipios de Colombia donde este se consolida como el de mayor importancia en términos económicos y productivos.

Las primeras siembras de palma aceitera en Colombia ocurrieron en 1932, donde era empleada exclusivamente para fines ornamentales, decorativos e investigativos, a fin de conocer el comportamiento de esta especie vegetal bajo determinadas condiciones agrícolas y climáticas en todo el territorio nacional. Posteriormente, en 1945 se estableció la primera plantación comercial en la zona bananera del departamento del Magdalena con palmas procedentes de Honduras. A finales de la década de 1950 y 1960 renace el cultivo de palma africana debido al desarrollo de una política gubernamental que estimulaba a los empresarios agrícolas a sembrar esta especie a cambio de créditos, incentivos tributarios y asistencia técnica, siendo esta la base el auge del cultivo de palma de aceite en el país debido a la implementación del modelo de Industrialización por Sustitución de Importaciones, el cual se basaba en la generación de nuevos sectores con capacidad de sostener la economía del país; por lo tanto, el manejo de la finca basado en la economía familiar se dio por terminado, reemplazándolo por la empresarización del sistema productivo.

Posteriormente, durante la década de los 80 el sector palmicultor destinaba la mayor parte de su producción al mercado nacional, llegando a multiplicarse el área sembrada casi cuatro veces en tan sólo 10 años, lo que representó 66.300 nuevas hectáreas sembradas; no obstante, hacia 1989 surgió una crisis como resultado de la sobreproducción, el bajo consumo interno y la poca coordinación entre los actores y entes institucionales aliados, conllevando a una disminución en los precios del aceite de palma. En la década de los 90 la apertura comercial representó un aumento en las exportaciones y de la demanda internacional de aceite de palma, generando así precios competitivos y mayor calidad en los productos; en el año 2001 se divulgó la política de desarrollo agrícola cuyo principal objetivo era la erradicación de cultivos ilícitos mediante su reemplazo por cultivos como la palma de aceite, incrementándose el número de hectáreas sembradas y en 2002 el nuevo gobierno promovió la producción de biodiesel como estrategia para el desarrollo económico, en respuesta a la búsqueda de alternativas energéticas que reemplazaran los combustibles derivados del petróleo, siendo el comienzo del siglo XXI el momento en que la palmicultura toma mayor fuerza, constituyéndose en el elemento fundamental de la cadena agrícola e industrial de Colombia. De esta manera, se llevaron a cabo grandes programas de expansión del cultivo de palma de aceite bajo las estrategias de lucha contra los cultivos ilícitos, el terrorismo y los programas de desarrollo rural (Rojas, 2016).

De esta manera, las directrices estatales en relación a las dinámicas económicas del país representan un escalón de gran importancia no sólo para el desarrollo productivo del mismo, sino también en torno al ordenamiento territorial. En Colombia, la planificación territorial ha tenido un enfoque económico más que social, teniendo este último una predominancia de las funciones territoriales, los servicios y equipamientos teniendo en consideración las características ecológicas de la zona, los patrones culturales de la población y sus aspiraciones y sueños para habitar el territorio. En este sentido, el territorio no se ha concebido de forma integral comprendiendo desde diferentes puntos de vista las disimilitudes regionales y la riqueza

cultural y ecológica, conllevando al inadecuado manejo de todo el territorio desde una perspectiva sustentable (Hernández, 2010). El ordenamiento territorial en Colombia está reglamentado, entre otras, mediante la Ley 388 de 1997, la cual establece las directrices sobre el ordenamiento territorial desde un nivel local a través de la regulación de la utilización, transformación y ocupación de las áreas urbanas y rurales del país, determinando una vigencia del Plan de tres periodos constitucionales (equivalentes a 12 años). Sin embargo, actualmente más de 900 municipios (el 83 % del país) tienen vencido su Plan de Ordenamiento Territorial (POT) (La República, 2018), dentro de los cuales se encuentra San Carlos de Guaroa, cuyo documento oficial data del año 2000. La desactualización de estos POT representa una ruptura entre la realidad del territorio y los instrumentos propuestos por sus gobernantes para garantizar una organización ideal, óptima y adecuada del mismo en armonía con la población que lo habita y con los recursos naturales con que cuenta, lo cual conlleva a que los planes, programas y proyectos que se formulen a fin de solucionar las principales problemáticas municipales puedan no tener el resultado esperado debido al desconocimiento de sus características físicas, sociales, económicas, culturales y ambientales.

Teniendo en cuenta lo anterior, los resultados del presente proyecto constituyen un aporte al conocimiento, debido a que generan nueva información acerca del comportamiento del territorio en el transcurso del tiempo, evaluando las variables que inciden en el cambio de coberturas, siendo esto una herramienta de gran utilidad para la elaboración de futuros planes de manejo y protección de bosques y contribuyendo a la implementación de soluciones y control del proceso expansivo del cultivo de palma de aceite. Además de esto para el municipio es necesario conocer los conflictos de uso, identificando cuáles son las áreas que por su uso inadecuado y presión antrópica generan degradación de las tierras (sobreutilización) o las tierras que por el contrario están siendo desaprovechadas (subutilización), conduciendo a la propuesta de uso potencial que constituye un insumo para el mejoramiento del ordenamiento territorial y el fortalecimiento del sector agrícola y económico sin dejar a un lado la importancia y el adecuado manejo de los recursos naturales.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

- Evaluar la relación entre el cambio de coberturas de la tierra y la expansión del cultivo de palma de aceite y proponer los usos recomendados del suelo en el municipio de San Carlos de Guaroa.

3.2 Objetivos específicos

- Desarrollar un análisis multitemporal que permita estimar el cambio de las coberturas de la tierra en relación con el cultivo de palma de aceite en los años 1990 y 2019 en el municipio San Carlos de Guaroa.
- Elaborar una propuesta de uso del suelo para el municipio de San Carlos de Guaroa en procura del manejo adecuado de los recursos naturales y realizar un análisis comparativo entre el beneficio-costo de las principales actividades productivas desarrolladas en el municipio en relación con los bienes y servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques naturales allí presentes.

4 Marco de referencia

A continuación, se expone el marco de referencia del presente proyecto. En este se presenta en primer lugar la revisión de trabajos previos relacionados con el tema de estudio, posteriormente los aspectos generales que recopilan los conceptos básicos utilizados durante el desarrollo metodológico del documento y finalmente el marco normativo vigente relacionado.

4.1 Antecedentes

Los análisis multitemporales constituyen una herramienta fundamental para el estudio y seguimiento de situaciones o fenómenos naturales en diferentes periodos de tiempo, permitiendo identificar cuáles son las dinámicas de cambio en los recursos naturales frente a diversas variables que pueden afectarlas en el tiempo. Este tipo de herramientas también facilitan la identificación de los conflictos de uso del suelo, sumado a investigaciones y estudios elaborados anteriormente relacionados con la capacidad de uso de suelo.

En el marco de la formulación de una propuesta de uso recomendado de suelo se toma como base un marco teórico y referencial que permite recopilar información bibliográfica que servirá como referente para el desarrollo del análisis y su metodología. En primer lugar, se busca construir una línea base del municipio y además compilar diferente orientada a la generación de la propuesta de uso recomendado; esto mediante la consulta de información oficial del municipio como el esquema de ordenamiento territorial (EOT) del municipio de San Carlos de Guaroa, este documento fue elaborado en el año 2015 con el objetivo de identificar, definir y potenciar las distintas acciones sobre el suelo del territorio y enfocarlas al desarrollo social económico del municipio (Alcaldía Municipal San Carlos de Guaroa, 2015), allí se describen las coberturas, usos y conflictos en el uso del suelo. Sin embargo, se evidencia que la información consolidada en este documento se encuentra desactualizada y aunque es de utilidad para un punto de referencia no puede ser comparada con los resultados de estudios actuales. En cuanto a otra información oficial del municipio se encuentra el Plan de desarrollo territorial (Alcaldía Municipal San Carlos de Guaroa, 2016) que presenta un diagnóstico general del municipio elaborado en el año 2016.

En conjunto, se encontraron diferentes trabajos que abordaban análisis multitemporales en diferentes zonas, relacionados con el cambio de coberturas del suelo. En el municipio del distrito central en Honduras para el año 2006 se llevó a cabo un análisis multitemporal que cuantifica el número de hectáreas de cobertura vegetal pérdidas desde el año al año 2006 (Hernández O. , 2012). Resulta interesante la revisión de los estudios multitemporales realizados en otros países, estos permiten observar dinámicas de cambio de coberturas diferentes, debido a las características del territorio y sobre todo constituyen una guía metodológica para el análisis multitemporal elaborado en el presente estudio.

Con respecto a los casos de pérdida o cambios de cobertura vegetal en el país, existe un estudio desarrollado en el Parque Nacional Alto Fragua Indi Wasi, que corresponde a un estudio elaborado en el año 2016. El estudio contempla el análisis de variables físicas, sociales, económicas y temporales que conllevan al análisis de pérdida de biodiversidad vegetal, la identificación de conflictos de uso y además facilitan la toma de decisiones en proyectos de conservación del parque (Martínez & Ruíz, 2016).

En el año 2013 y asemejándose un poco más al objetivo del presente estudio se encuentra un estudio de cambio en la cobertura de la tierra y la incidencia del cultivo de palma en estas dinámicas, el estudio de caso es el municipio de Villanueva en el departamento de Casanare, el objeto de este proyecto fue verificar la incidencia de los cultivos de palma en la transformación del territorio, el análisis se realiza mediante la interpretación de imágenes satelitales. Se realizan mapas temáticos para cada uno de los años de estudio evaluando el cambio de coberturas y la relación con la dinámica de actividades principales de la zona, como lo son los cultivos de palma. (González & Romero, 2013).

Finalmente, en 2016 se pública un trabajo de investigación orientado a la evaluación de las transformaciones ambientales generadas por la expansión del cultivo de palma el departamento del Meta, el crecimiento desmedido del cultivo ha generado cierto tipo de conflictos ambientales, pero así mismo ha constituido una fuente de desarrollo económico para el departamento. En este estudio se realiza una evaluación multitemporal para establecer las dinámicas de concentración del uso de suelo por parte de la agroindustria de palma de aceite y los patrones de cambio en las coberturas del suelo (Rojas, 2016).

4.2 Aspectos generales

Para el desarrollo del proyecto resulta pertinente crear una base conceptual que proporcione una idea clara sobre el tema y comprender la metodología del mismo. Los conceptos de mayor relevancia son presentados en esta sección.

4.2.1 Orinoquía colombiana

La Región de la Orinoquia colombiana ha sido conocida como una región en la cual predominan las sabanas denominadas "Llanos Orientales", ubicados por debajo de los 500 msnm y presentan un clima relativamente homogéneo; en esta región, el concepto de cuenca hidrográfica es mucho más amplio debido a que comprende adicional a estas planicies, terrenos montañosos de la Cordillera Orienta y el piedemonte llanero, otorgándole una mayor heterogeneidad con una amplia diversidad biológica y cultural. Su cuenca hidrográfica comprende 347.713 km^2 e incluye los departamentos de Arauca, Casanare, Vichada, Meta, Cundinamarca, Santander, Norte de Santander, Guaviare, Guainía, Vaupés, Huila, Caquetá y parte de Cundinamarca y su Distrito Capital. Los regímenes de lluvia producen un promedio de 23.000 m^3/s, cerca del 34 % de la escorrentía total nacional y adicional a este factor, la Orinoquía recibe las aguas de grandes e importantes ríos como el Guaviare, Inírida, Meta y Vichada, aportando al río Orinoco alrededor de 21.400 m^3/s (Banco de Occidente, 2005).

La Orinoquía colombiana cuenta con seis ecosistemas, correspondientes al Piedemonte, la Orinoquía Inundable, la Orinoquía no inundable, el Andén Orinoqués, la Serranía de la Macarena y la Selva de Transición. El primero de estos se localizan antes del encumbramiento de la Cordillera Oriental y corresponde a una faja de terreno pendiente con alturas entre los 200 y 1000 msnm; esta zona acumula los mejores suelos debido a que son menos propensos a inundaciones y está directamente influenciado por los vientos de la cordillera (Consejo Regional de Planificación Económica y Social, 1996). Durante cada creciente, los cuerpos de agua aportan en el piedemonte nuevos materiales formando una extensa zona de explayamiento; adicionalmente, debido a los flujos torrenciales y a su desborde el terreno del piedemonte se torna inestable, siendo las principales causas la sismicidad característica de la zona que favorece los deslizamientos y movimientos en nada, las fuertes pendientes sobre las que se ubican las cuencas hidrográficas y la destrucción de la cobertura vegetal, haciendo que la escorrentía sea superior aumentando así el transporte del material (Banco de Occidente, 2005).

La Orinoquía inundable se sitúa al norte del río Meta, y se conoce con dicha denominación debido a que en los departamentos de Arauca y Casanare los ríos se explayan en invierno causando inundaciones cíclicas, mientras que la Orinoquía no inundable comprende el territorio de los departamentos de Meta y Vichada y se caracteriza porque, si bien no se genera empozamiento de las aguas, las avenías de los ríos suelen ser catastróficas; allí los suelos próximos a la cordillera y al lecho del río son fértiles y aptos para la agricultura comercial, pero los de sabana sólo admiten el desarrollo de la ganadería extensiva y su red fluvial no es tan variada ni compleja como la de la Orinoquía inundable. Respecto al Andén Orinoqués, este comprende la faja de terreno que bordea al río Orinoco y a la desembocadura de sus afluentes y es constituido por afloramientos rocosos del macizo de Guayana, resultantes de procesos erosivos en las altiplanicies; en este, los suelos son muy pobres en nutrientes por sus altos contenidos de hierro, lo cual supone una amenaza por la desertización edáfica; en contraste, la Serranía de la Macarena comprende una formación orográfica

independiente de los sistemas Andino y Guayano-Brasilero siendo la más antigua de las cordilleras debido a que albergó distintos especímenes de flora y fauna americana y, en consecuencia, se constituye como un banco genético único en el mundo del cual es posible obtener información de gran utilidad. Finalmente, la Selva en Transición se ubica en los departamentos de Guaviare, Vaupés y Guainía y concierne la selva que une a la Orinoquía con la Amazonía, presentando características típicas de ambos ecosistemas siendo predominante el amazonas desde el punto de vista geográfico (Consejo Regional de Planificación Económica y Social, 1996).

4.2.2 Palma de aceite

La palma de aceite es un cultivo tropical perenne de ciclos muy largos, ya que cuando se cultiva con fines comerciales puede tener una vida productiva de 24 a 28 años; proviene del golfo de guinea en África occidental, razón por la cual su nombre científico es *Elaeis guineensis Jacq* y es denominada comúnmente como palma africana; este cultivo tropical se desarrolla en condiciones de alta temperatura, buena radiación solar, alta precipitación y humedad relativa. Si bien este es un cultivo de alta adaptabilidad, prefiere suelos aluviales sueltos, profundos, bien drenados con texturas francas y topografía plana (Zuleta Montoya, 2012).

Las etapas del desarrollo del cultivo se pueden clasificar de la siguiente manera:

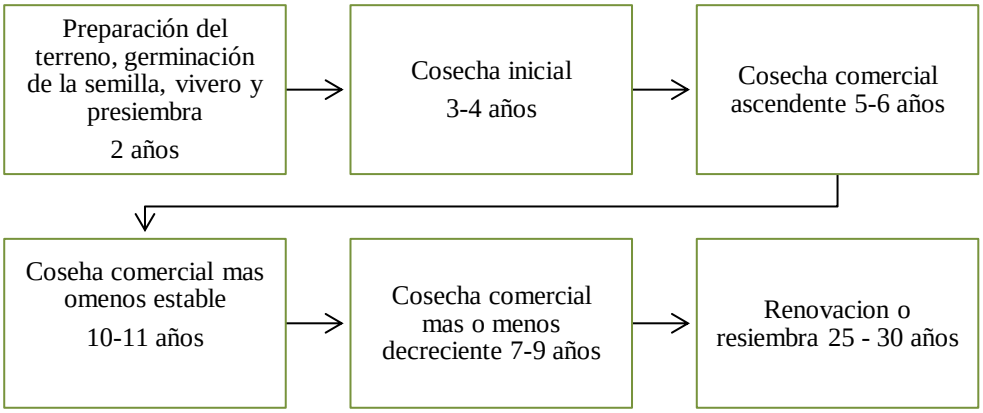


Figura 1. Desarrollo del cultivo de palma.
Fuente: (Zuleta Montoya, 2012).

El cultivo de palma de aceite tiene una alta rentabilidad y constituye una buena opción para las tierras bajas en las regiones tropicales; su etapa productiva inicia entre los 18 y 24 meses, siendo económicamente viable por aproximadamente 25 años ya que a partir de este momento la altura de la palma limita el óptimo y fácil desarrollo de las actividades asociadas al mantenimiento del cultivo.

La palma de aceite pertenece a la familia *Arecaceae* y tiene por nombre científico *Elaeis Guineensis Jacq*. Se compone de un tronco erecto solitario que puede llegar a alcanzar más de 40 metros de altura en su estado natural. Produce un fruto formado por una almendra o endospermo, cuesco o endocarpio, pulpa o mesocarpio y cáscara o exocarpio. Su sistema radicular se caracteriza por ser un bulbo donde las raíces primarias salen de la base del tallo en todas las direcciones y de ella se originan las secundarias, terciarias y cuaternarias, estando la mayoría de ellas concentradas hasta los 60 centímetros de profundidad a partir de la superficie del suelo. Su tallo, también conocido con el nombre de estípite, corresponde a la estructura que comunica el sistema radicular con las hojas y suele crecer entre 30 y 50 centímetros por año, aunque en híbridos este valor puede variar oscilando entre 25 y 30 cm para el mismo periodo; finalmente, sus hojas

están compuestas por un pecíolo con espinas laterales que mide cerca de un metro y medio de largo, así como por el raquis que soporta entre 200 y 300 foliolos (Fedepalma, 2012).



Fotografía 1. Cultivo de palma de aceite de 21 años de edad en el municipio de San Carlos de Guaroa. Fuente: Autoras, 2019.

Del cultivo de palma de aceite se obtienen varios productos y subproductos, cada uno de los cuales tiene un amplio campo de utilización; el tronco y las hojas se emplean como materia prima para la elaboración de muebles y pulpa de papel, del fruto se obtienen los aceites de palma y de palmiste cuyo uso principal es la producción de alimentos y oleoquímicos. Del proceso de extracción de estos aceites se obtienen subproductos como los racimos vacíos o raquis, el cuesco, la fibra y los efluentes, los cuales se pueden utilizar como fertilizantes, combustible para las calderas de la planta de beneficio y alimento para animales (Garcés & Cuéllar, 1997), razón por la cual la agroindustria de la palma de aceite tanto en Colombia como en el resto del mundo, se ha expandido de forma tan acelerada.

La producción de aceite de palma y palmiste y su calidad están directamente asociados al sistema de cosecha (que garantice la mejor selección de los Racimos de Fruta Fresca o RFF de óptima madurez), el manejo cuidadoso de los RFF y su transporte inmediato desde la plantación hacia la planta extractora, el procesamiento eficiente de los RFF y las adecuadas instalaciones para su almacenamiento.








Fotografía 2. Cultivos de palma de aceite en San Carlos de Guaroa, y sus Racimos de Fruta Fresca (RFF).
Fuente: Autoras, 2019.

4.2.3 Metodología CORINE Land Cover

CORINE Land Cover es una metodología europea adaptada para Colombia que permite unificar los criterios, conceptos y métodos para conocer las coberturas naturales y antrópicas presentes en el territorio. Está metodología consiste en la interpretación visual de imágenes satelitales para la identificación de coberturas y uso del suelo. En Colombia, el IDEAM, junto con el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi), el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH) e IGAC, y la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales (UAESPNN), y con la participación de técnicos de otras entidades desarrollaron una leyenda nacional de las coberturas de la tierra del país a escala 1:100.000 la cual se encuentra estructurada de manera jerárquica , con base en diferentes criterios fisionómicos de altura y densidad, creando grupos de coberturas del mismo tipo. El sistema de clasificación se crea como respuesta a la necesidad de estandarizar la información y se crea así, un insumo fundamental para el ordenamiento territorial y la toma de decisiones en materia medio ambiental dado que las coberturas de la tierra proporcionan información fundamental para diferentes procesos como mapas de ecosistemas, conflictos de uso del territorio, seguimiento de deforestación, entre otros. (IDEAM; Sinchi; IAvH; IGAC; UAESPNN, 2010).

4.2.4 Pérdida de cobertura forestal

El término de deforestación se refiere a los procesos en los que se eliminan o desaparecen los bosques, los cuales suceden en el marco del desarrollo de actividades humanas como la agricultura, actividades mineras, represas, creación y mantenimiento de la infraestructura, expansión de ciudades y otras acciones del hombre sobre la naturaleza. Estos procesos se pueden relacionar con el desconocimiento del rol que desempeñan los bosques en la vida de los hombres y los beneficios que proporcionan. Los bosques capturan y almacenan el carbono, regulan el clima, mantienen el ciclo del agua, purifican las corrientes hídricas, mitigan los riesgos naturales como inundaciones y además sirven como hábitat de un gran número de especies (García, 2014); por esta razón la perdida de bosques constituye una de las principales problemáticas que está enfrentando el planeta ya que degrada los ecosistemas y todos los servicios que estos proveen.

En el mundo, Malasia e Indonesia son los principales exportadores de palma de aceite, un cultivo que gracias a la demanda global de biocombustibles ha aumentado significativamente su demanda, ocupando grandes extensiones de tierra para su desarrollo. Sin embargo, esta actividad agrícola se posiciona como una de las principales y recientes causas de la deforestación y cambios de uso del suelo. Estos países experimentan el mayor porcentaje de perdida de cobertura arbórea con un 65% y 44% respectivamente; presentando una evidente afectación de los paisajes forestales dado que actualmente los cultivos están ubicados en áreas que en el año 2000 probablemente fueron bosques (GFW, 2016).

Debido a la diversidad de clima y relieves colombianos, el país cuenta con una gran variedad de bosques naturales distribuidos en las cinco regiones: Amazonia, Andina, Pacifico, Orinoquia y caribe; sin embargo, en los últimos 20 años se ha perdido un gran número de hectáreas de bosque. En 1990 se estima que la extensión de bosques era de 64'442.269 hectáreas lo que quiere decir un 56% del territorio nacional, una extensión representativa en el país, sin embargo, para el año 2010 el país perdió aproximadamente 5 millones de hectáreas de bosque (García, 2014). Estos procesos de perdida de bosque conllevan a impactos ambientales muy negativos sobre el país, generando eventos climáticos extremos, procesos de erosión y sedimentación de las cuencas de los ríos; también afecta la calidad y disponibilidad del agua, además que se asocia con la pérdida de biodiversidad y destrucción de los ecosistemas.

4.2.5 Capacidad de uso de las tierras

La clasificación de los suelos según su capacidad de uso se encuentra fundamentado en la aptitud natural que presenta el suelo para producir constantemente bajo unos usos específicos; de esta manera, se proporciona información que refleja la problemática del suelo en aspectos como sus limitantes de uso, las necesidades y prácticas de manejo que requieren y de igual manera suministra elementos esenciales para la formulación y ejecución de planes de desarrollo del sector productivo. El sistema de clasificación se basa en las Normas y Principios del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América (USDA por sus siglas en inglés) pero se ajusta considerando diferentes aspectos; de esta manera se tienen los niveles o categorías correspondientes a divisiones o grupos de capacidad, clases o capacidad de uso y subclases de capacidad de uso, donde las primeras agrupan categorías menores de clasificación que se diferencian unas de otras por el grado de limitaciones permanentes o riesgos que involucra el uso de esos suelos, las segundas están determinadas de acuerdo a la naturaleza de las limitaciones según la condición del suelo, los riesgos de erosión, las condiciones de drenaje y los peligros de inundación (OAS, 2019), y las terceras son divisiones de las clases y reúnen tierras que tienen igual número y grados similares de limitaciones y riesgos en su uso, y se designan añadiendo una letra minúscula a continuación de la clase y corresponden a pendiente del terreno (p), erosión presente o pasada (e), humedad excesiva sobre el suelo o dentro de él (h), restricciones físicas o químicas del suelo (s) y condiciones climáticas (c) (IGAC, 2009).

En Colombia, la capacidad de uso se entiende como el potencial que tienen las tierras para ser utilizadas bajo determinado tipo de uso con prácticas de manejo específicas. La identificación de las unidades de capacidad de uso de las tierras mediante las clases agrológicas tiene por principal objetivo que el desarrollo agrícola, ganadero y forestal, así como las acciones encaminadas a la conservación, preservación y/o restauración del medio natural se ejecuten de acuerdo a la vocación de las tierras y a los requerimientos de protección necesarios de acuerdo a su vulnerabilidad frente a factores ambientales y antrópicos. Este sistema de clasificación agrupa unidades de suelo que comparten las mismas limitaciones para su utilización y respuestas similares ante prácticas de manejo semejantes con el propósito de que las actividades productivas se desarrollen en tierras aptas y sin provocar degradación sobre las mismas; el sistema representa categorías de la 1 a la 8 siendo las primeras las tierras más productivas y las últimas aquellas de mayores restricciones (IGAG, 2012). Estas ocho clases se agrupan en 3 grandes grupos de la siguiente manera:

- Grupo 1: Comprende tierras con capacidad para ser utilizadas en actividades agrícolas y ganaderas (tecnificadas de tipo intensivo y semi intensivo) y reúne las clases 1-4. No obstante, se consideran con capacidad de ser utilizadas en estas actividades en forma amplia e intensiva (clase 1) a fuertemente restringida (clase 4) por lo que a medida que aumenta la categoría de la clase también se incrementan las prácticas de manejo y conservación.

- Grupo 2: Dentro de este grupo se encuentran las tierras que pueden ser utilizadas en actividades agrícolas, ganaderas, agroforestales y/o forestales, pero de forma restringida y reúne las clases 5-7. En este sentido, las tierras de clase 5 no son aptas para el desarrollo de la agricultura convencional

debido a las limitaciones que presenta en términos de inundaciones y presencia de pedregosidad superficial; sin embargo, en caso de que se lleven a cabo prácticas de manejo especiales se podrían adelantar en estas tierras actividades agropecuarias con rendimientos aceptables. Así mismo, las clases 6 y 7 representan tierras que no tienen capacidad para la agricultura con excepción de cultivos específicos y sistemas agroforestales y forestales, debido principalmente a las limitaciones que presentan en términos de pendientes y ambas clases requieren de intensas prácticas de manejo y conservación.

- Grupo 3: Las tierras que forman parte de este grupo deben ser utilizadas únicamente con fines de preservación, conservación y ecoturismo, y se encuentra dentro de este la clase 8. En consecuencia, estas tierras no cuentan con capacidad de adelantar actividades agropecuarias ni forestales de producción.

En Colombia, las clases de tierra con mayor aptitud agrícola (Grupo 1) ocupan el 15,6 % de la extensión, aunque la Clase 4 reduce la extensión de las tierras con mayor potencial agrícola a tan sólo el 2,9 %, razón por la cual deben eliminarse en ellas los conflictos de uso e incentivar su productividad con el fin de asegurar la seguridad alimentaria del país. A la Clase 5 pertenece el 7,4 % de la superficie nacional y se presenta mayormente en las planicies de la Orinoquía inundable, depresiones y zonas de influencia del río Magdalena y de los grandes ríos Amazónicos, las zonas bajas de la Región del Caribe y en el departamento de Nariño. La Clase 6 ocupa el 26,2 % del territorio colombiano y se distribuye a lo largo y ancho del país, con dominancia en la zona central y oriental de la Amazonía, algunas áreas del Pacífico y de los piedemontes andinos; la Clase 7 es la de mayor extensión en Colombia, con el 36,1 % de ocupación, por lo que dada su alta susceptibilidad a la erosión la actividad ganadera debe ser excluida de sus usos. Esta clase se presenta en todas las regiones del país, sobresaliendo las zonas de la Amazonía y Orinoquía bien drenada y disectada, así como amplias áreas de las regiones Andina, pacífica y La Guajira. Finalmente, la Clase 8 representa el 12,5 % de la superficie nacional y se localiza en áreas de la Región Andina y la Sierra Nevada de Santa Marta, así como en zonas de la Amazonía y en el departamento de Vichada (IGAC, 2016).

4.2.6 Vocación de uso de las tierras

La identificación de la vocación de uso de las tierras permite conocer el uso más apropiado que pueden soportar los suelos del país en pro de una producción sostenible y sin deteriorar los recursos naturales presentes en cada una de estas zonas. En este sentido, la utilización óptima de las tierras surge de la asignación a cada unidad de suelo, el tipo de uso más apropiado y las prácticas específicas correspondientes a fin de obtener el máximo beneficio ambiental, social y económico; su valoración considera la interdisciplinariedad de aspectos heterogéneos como el clima, suelos, geología y geomorfología. De esta manera, se identifican dos niveles categóricos siendo el primero la vocación general de uso de la tierra y el segundo, como subdivisión, se refiere a los usos principales recomendados. La vocación de uso del suelo representa la clase de mayor uso que una unidad de tierra es capaz de soportar, evaluada a partir de una base biofísica, mientras que el uso principal recomendable es el uso deseable que coincide con la función específica de la zona y que por lo tanto ofrece mayores ventajas desde el punto de vista del desarrollo sostenible (IGAG, 2012).

Estas clases de uso principal hacen referencia a los grupos de usos rurales y no a cultivos específicos. Así mismo, debe tenerse en cuenta que a medida que se incrementan las limitaciones naturales de la tierra, los usos principales recomendados requieren de mayor intensificación en las prácticas de conservación, mayor protección de los suelos, menor intensidad de uso de los recursos naturales y menor posibilidad de intervención humana. En Colombia, la vocación de uso de las tierras está dividida en 5 clases, cada una de las cuales se describe brevemente a continuación de acuerdo a las definiciones proporcionadas por (IGAG, 2012):

- Vocación Agrícola: “Las tierras con esta vocación son aquellas que debido a las características de sus suelos permiten el establecimiento de sistemas de producción agrícola con plantas cultivadas de diferentes ciclos de vida y productos. Estas tierras tienen una mayor capacidad de soportar actividades agrícolas intensivas y semi intensivas o cualquier tipo de uso que se desee implementar. Los principales usos establecidos en esta vocación corresponden a los cultivos transitorios y permanentes de tipo intensivo y semi intensivo localizados en diferentes pisos térmicos con temperaturas superiores a los 12 °C”.

- Vocación Ganadera: “En estas tierras el uso hace referencia a la explotación económica que realiza el ser humano sobre especies animales de pastoreo, sea de tipo vacuno, lanar o caballar y se caracterizan por presentar limitaciones moderadas especialmente para el desarrollo de agricultura intensiva y semi intensiva, tales como la escasa e irregular distribución de las lluvias, el tipo de relieve, la baja fertilidad de los suelos y la dificultad de estos para la profundización de raíces, la presencia de pedregosidad en la superficie o en el suelo y la tendencia a inundaciones. En esta vocación los usos principales son el pastoreo intensivo, semi intensivo y extensivo en diferentes pisos térmicos con temperaturas superiores a los 12 °C”.

- Vocación Agroforestal: Debido a sus características, estas tierras no permiten los usos agrícolas o ganaderos exclusivos, por lo que deben ser utilizadas bajo sistemas combinados donde se fusionen actividades agrícolas, ganaderas y forestales en tiempos y espacios determinados. Por lo tanto, los usos principales corresponden a agrosilvícola, agrosilvopastoril y silvopastoril.

- Vocación Forestal: Se refiere a las tierras donde debido a condiciones como el clima, pendientes, suelos y riesgos erosivos, deben aprovecharse con usos de protección o producción forestal ya sea con especies nativas o exóticas. En consecuencia, no admiten ningún tipo de uso agrícola o pecuario (exceptuando el uso forestal productivo, ya que este es compatible con los usos agroforestales).

- Vocación de Conservación de suelos: Estas tierras comprenden aquellas que debido a sus características abióticas, bióticas y ecológicas tienen como función principal la protección de los recursos naturales a fin de garantizar el bienestar social, económico y cultural del ser humano. En consecuencia, esta vocación permite la intervención antrópica limitada y dirigida especialmente a actividades de investigación, ecoturismo, protección de fauna y flora silvestre y recuperación para la protección. Sus usos principales son conservación de los recursos hídricos, conservación de recursos hidrobiológicos, conservación y/o recuperación de suelos erosionados y recuperación de suelos salino-sódicos.

En el país, la Vocación de la tierra predominante corresponde a la forestal, ocupando el 56,23 % de la extensión del territorio, con aproximadamente 64.204.249 hectáreas; a esta categoría le siguen la Vocación agrícola (19,34 %), ganadera (13,31 %), conservación de suelos y aguas (5,52 %), agrosilvopastoril (3,55 %) y otros (2,05 %) (IGAC, 2016).

4.2.7 Conflictos de uso del suelo

El manejo inadecuado de las tierras es un problema que puede verse reflejado en una baja productividad, así como en la pobreza social, económica y ambiental debido a que los recursos no se aprovechan de una manera óptima. La degradación de los suelos conlleva costos significantes debido a que su rehabilitación puede estar entre diez y cincuenta veces el costo de las medidas que se tomen para evitar su afectación, por lo que el uso racional de los recursos considerando potencialidades y limitaciones debe ser la base del desarrollo de los procesos productivos, especialmente aquellos que se enmarcan en los sectores agropecuarios y forestales (Salas & Valenzuela, 2011).

Colombia tiene 114 millones de hectáreas, de las cuales 15 millones tienen vocación agrícola, 8 millones cuentan con vocación ganadera, 19 millones tienen vocación agroforestal, 4 millones vocación forestal de producción y 67 millones poseen vocación de conservación de los suelos. Sin embargo, tan sólo 6 millones de hectáreas tienen uso actual agrícola, 38 millones se encuentran dedicadas a áreas de pastoreo de ganado, 216 hectáreas son agrosilvopastoriles, 121 millones se utilizan con fines forestales de producción y 67 millones están dedicadas a la protección. Como es evidente, los conflictos de uso del suelo en el país son relevantes debido a que se ha identificado que el 70 % del territorio cuenta con un uso adecuado (77.082.339 ha), el 17 % se encuentra en sobreutilización (18.382.792 ha) y el 13 % está siendo subutilizado (14.905.040 ha) (UPRA, 2014).

El conflicto de uso del suelo corresponde a la magnitud de la diferencia entre la oferta productiva del suelo y las exigencias del uso actual del mismo. En este sentido, la identificación de estas áreas tiene como principal objetivo determinar las zonas en las cuales la cobertura vegetal establecida no está acorde con las condiciones físicas del suelo, a fin de establecer las medidas necesarias para evitar el deterioro del recurso (CVC, s.f.). Se suelen encontrar tres situaciones que representan los niveles o grados de conflicto: 1) Correspondencia o equivalencia, en donde el suelo está siendo utilizado adecuadamente, encontrándose un equilibrio que representa que el uso del suelo tiene las mismas exigencias que las ofertas ambientales del mismo; 2) Subutilización del suelo, que ocurre cuando las exigencias del uso o cobertura actual del suelo son inferiores a las de la oferta productiva de este y 3) Sobreutilización del suelo, el cual se genera cuando las exigencias del uso o cobertura actual de la tierra son mayores a las de la oferta productiva del suelo (Alcaldía Municipal de Toca, 2001).

4.2.8 Frontera agrícola nacional

Son muchas las acepciones de la frontera agrícola a nivel global; algunas de ellas la definen como la zona de división entre las tierras ocupadas con cultivo o cría de ganado y las tierras no ocupadas por actividades agrarias, en las que únicamente crece vegetación natural que se aprovecha o no para otros usos (Montenegro, 2013), mientras otras se refieren a la frontera agraria como "el espacio límite entre el paisaje natural, virgen al aprovechamiento de las sociedades humanas y los territorios transformados por la actividad agropecuaria" (Fernández, 2003, citado por (Salizzi, 2012). Sin embargo, la definición de la frontera agrícola en Colombia se define como "el límite del suelo rural que separa las áreas donde las actividades agropecuarias están permitidas, de las áreas protegidas, las de especial importancia ecológica, y las demás áreas en las que las actividades agropecuarias están excluidas por mandato de la ley o el reglamento"[1].

La delimitación de la frontera agrícola está basada en el territorio transformado que se dedica al desarrollo de actividades agropecuarias en el suelo rural, por lo que es discontinua y dinámica como consecuencia de las categorías de ordenamiento territorial presentes o que puedan desarrollarse en un futuro. Los principales resultados de este proceso indican que el 35 % del territorio se encuentra dentro de la frontera agrícola nacional, ocupando aproximadamente 40.075.960 ha, el 42 % del país está representado por bosques naturales y áreas no agropecuarias y el 23 % del mismo presenta exclusiones legales (MADR & UPRA, 2018).

4.2.9 Análisis multitemporal

Un análisis temporal se define como el estudio de un área determinada en diferentes periodos de tiempo; este estudio permite detectar diferentes cambios en un terreno, evaluando fenómenos como inundaciones, incendios forestales, deforestación y realizar un seguimiento a la evaluación de sus efectos deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre ese medio (Chuvieco, 1990). Se

[1] Construcción conjunta con delegados de la UPRA y MADS en reuniones realizadas con fechas: septiembre 21 de 2016, octubre 19 de 2016, marzo 16 y 31de 2017, mayo 9 y 26 de 2017, junio 5 de 2017 y 24 de octubre de 2017.

define como una herramienta que tiene como objetivo principal comparar las coberturas clasificadas a través de imágenes satelitales capturadas en diferentes fechas para detectar y cuantificar la pérdida o ganancia de coberturas lo que se conoce como dinámica de cambio (Hernández O. , 2012).

4.2.9.1 Imágenes satelitales

Se conoce como imagen satelital a una representación visual de los datos que han sido reflejados por la superficie terrestre y captados mediante un sensor anclado a un satélite artificial; la información recolectada es enviada a una estación terrestre donde posteriormente es procesada y convertida en imágenes (BITS, 2015). En la actualidad existen diferentes tipos de imágenes de satélite, las cuales varían según el tipo de sensor y de la finalidad de captación con que fue construido. A continuación, se describen los satélites a través de los cuales se obtuvieron las imágenes satelitales empleadas en el desarrollo del presente proyecto.

4.2.9.1.1 Landsat

Landsat es un proyecto que comprende una serie de satélites que capturan datos de teledetección terrestre con una resolución moderada. Su principal objetivo es el monitoreo de los recursos naturales, tiene aplicaciones en agricultura, geología, silvicultura, planificación regional, educación, mapeo e investigación sobre el cambio global (Survey, 2018) a continuación se describen los dos tipos de satélite utilizados en este proyecto:

- Landsat 5: Este satélite fue lanzado en el año 1984 y dado de baja en el año 2013. Posee un sensor que combina las características multiespectral escáner (MSS) que permite una resolución espacial de 79 m, con un nuevo sensor Thematic Maper (MT), que opera en siete bandas espectrales diferentes con una resolución espacial de 30 metros exceptuando la banda 6 con resolución de 180 metros (USGS, 2018).

- Landsat 8: Este satélite fue lanzado el 11 de febrero de 2013 y actualmente se encuentra en órbita. El satélite transporta 2 sensores, Operational Land Imager (OLI) y el Sensor Infrarrojo Térmico (TIRS). Estos dos sensores permiten una resolución espacial de 30 metros en las bandas del visible, infrarrojo cercano (NIR) y en el infrarrojo de onda corta (SWIR); 100 metros en la banda térmica; y 15 metros en el pancromático (USGS, 2018). La banda pancromática resulta de gran utilidad, ya que permite mejorar la resolución de las imágenes de satélite, mediante una combinación con el resto de bandas se obtiene una imagen multiespectral que preserva la máxima resolución.

4.2.9.1.2 Sentinel 2

Sentinel 2 es una misión europea de generación de imágenes de gran alcance y alta resolución. Se compone de 13 bandas espectrales, 4 bandas con resolución espacial de 10 m, seis bandas a 20 m y 3 bandas a 60 m. El ancho de la franja orbital cubre 290 km. Estos satélites brindan continuidad de datos de imágenes tipo SPOT y LANDSAT (ESA, 2018).

Por sus características la misión proporciona información útil para el sector agrario, contribuyendo a la gestión de la seguridad alimentaria. También sirve para cartografiar el estado y los cambios de la superficie terrestre y para vigilar las selvas. También alerta de la contaminación en lagos y aguas costeras. Las imágenes contribuyen a gestionar las consecuencias de inundaciones, erupciones volcánicas y deslizamientos y ayudan en las tareas de ayuda humanitaria (GEODIM, 2016).

4.2.9.2 Procesamiento digital de imágenes

El procesamiento digital de imágenes constituye un proceso que tiene como finalidad mejorar el aspecto de las imágenes y hacer más evidentes en ellas algunos detalles que, de acuerdo al objetivo de su uso, se desean hacer más notorios; este procesamiento puede realizarse a través de métodos ópticos o digitales mediante el uso de un software especializado (ILCE, 2019). A continuación, se describe brevemente el sistema utilizado para el desarrollo del proyecto.

4.2.9.2.1 Clasificación supervisada

La clasificación supervisada de imágenes satelitales consiste en definir unas áreas de entrenamiento que parten de un conocimiento previo de la zona de estudio; estas áreas de entrenamiento serán las categorías más representativas que componen la leyenda y son dadas por el intérprete, por ejemplo: Cultivo de palma de aceite y bosque. El termino indica que estas áreas sirven para entrenar al ordenador en el reconocimiento de las diferentes categorías definidas, asignando un valor numérico para cada clase (Chuvieco, 1990).

4.3 Marco normativo

El contexto normativo dentro del cual se enmarcan los temas que aborda el presente proyecto de investigación constituye una base de suma importancia para comprender el origen de los procesos sobre los que actualmente se desarrollan los procesos ambientales, económicos y sociales en relación con la expansión de la frontera agrícola, el auge de la palma de aceite y la deforestación en el municipio de San Carlos de Guaroa, Meta. El presente marco normativo se desarrolla bajo el concepto de una línea del tiempo de manera que se logre apreciar la evolución de los procesos legislativos en cuanto a los temas anteriormente indicados; de esta forma el Decreto 2811 de 1974 constituye el punto de partida bajo el cual se proclama el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente en el que se estipulan los objetivos en pro de la preservación del ambiente, los factores considerados deterioradores, el óptimo proceso de uso de los elementos ambientales y de los recursos en general, la protección de los suelos en cuanto a su utilización y conservación y el aprovechamiento forestal y sus categorías de aplicación según el uso al que se destinen estos recursos. En segundo lugar es necesario traer a colación la disposición sobre la cual se fundamentan las diferentes normas nacionales y que corresponde a la Constitución Política de Colombia de 1991, pues de ella emergen las principales obligaciones del Estado en cuanto a la protección del medio ambiente y el aprovechamiento de los recursos naturales que lo constituyen, la producción económica basada en la agricultura y la organización del territorio en entidades territoriales de diferentes categorías, así como los derechos de la población que hace parte de la nación y que constituyen el fin último de la norma.

Posteriormente, dos años después se emite la Ley 99 de 1993 por medio de la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación de los recursos naturales, se organiza el Sistema Nacional Ambiental y se dictan otras disposiciones en relación con la política ambiental colombiana, el desarrollo socioeconómico del país en relación con el medio ambiente, la utilización de los recursos naturales, las instituciones ambientales del Estado, los conceptos de desarrollo sostenible y ordenamiento ambiental del territorio y los procesos de licenciamiento ambiental y estudios de impacto para proyectos de inversión. En 1994, nueve años después de la consolidación de la palma de aceite en Colombia de expide la Ley 138 a través de la cual se establece la cuota para el fomento de la agroindustria de palma de aceite y se crea a su vez el Fondo de Fomento Palmero mediante el cual se lograra el manejo de los recursos provenientes del recaudo de dicha cuota que aportan de manera obligatoria las personas naturales o jurídicas que por medio de un proceso industrial, obtengan aceite de palma o palmiste por cuenta propia.

En relación con la protección de los bosques se emite la Ley 1021 de 2006 que tiene como objeto establecer el Régimen Forestal Nacional en miras del desarrollo sostenible el sector forestal colombiano concerniente a la conservación y manejo sostenible de los bosques naturales y plantaciones forestales en suelos con vocación forestal, las acciones para detener la deforestación y la tala ilegal de los bosques, el derecho de las comunidades indígenas y afrocolombianas a la toma de decisiones sobre proyectos forestales sostenibles que se deseen llevar a cabo en sus territorios y los tipos de aprovechamiento forestal legalmente constituidos. Seguidamente en el año 2007 se publica el Documento CONPES 3477 que establece la estrategia para el desarrollo competitivo el sector palmero colombiano bajo común acuerdo del Consejo Nacional de Política Económica y Social mediante el cual se espera incrementar la competitividad de la agroindustria de palma de manera sostenible en asociación con pequeños productores, trabajadores y la comunidad en general; cuatro años después se expide el Decreto 4145 de 2011 con el objetivo de crear la Unidad de Planificación de Tierras Rurales, Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios (UPRA) a través de la cual se oriente la política de gestión del territorio con dichas características que permitan la doma de decisiones en el ordenamiento territorial y social de la tierra rural y para el 2013 se publica la Interpretación Nacional para Colombia del Estándar RSPO (Roundtable on Sustainable Palm Oil) para la Producción de Aceite de Palma Sostenible que contiene ocho principios que deben cumplir las empresas que produzcan o transformen Racimos de Fruta Fresca (RFF) de palma de aceite a nivel nacional para garantizar que a lo largo del proceso productivo se mantiene un equilibrio con los entornos ambiental y social, y que corresponden al compromiso con la transparencia, compromiso con las leyes y regulaciones aplicables, compromiso con la viabilidad económica y financiera, uso de mejores prácticas por parte de los cultivadores y procesadores, responsabilidad con el medio ambiente y conservación de la biodiversidad, responsabilidad con los empleados, individuos y comunidades, desarrollo responsable de nuevas plantaciones y mejoramiento continuo.

Considerando esto, un año después (2014) el Instituto Colombiano Agropecuario establece mediante la Resolución 2009 de este año los requisitos para el registro de todos los predios productores de palma de aceite en el país de manera que se garantice la transparencia en relación a la tenencia de la tierra, asistencia técnica, manejo fitosanitario, monitoreo de plagas y uso del suelo y para este mismo año se modifica la normatividad referente a las licencias ambientales para aquellas obras o proyectos que puedan producir deterioro sobre los recursos naturales o el medio ambiente. Finalmente, a través del Decreto 1257 de 2017 se crea la Comisión Intersectorial para el Control de la Deforestación y la Gestión Integral para la Protección de Bosques Naturales en pro de la formulación de mecanismos a través de los cuales de controle la deforestación y se guíe la gestión de los bosques en el país.

5 Metodología

El desarrollo del proyecto se lleva a cabo a través del seguimiento de dos metodologías propuestas para responder al cumplimiento de los objetivos específicos planteados en el proyecto. La primera metodología se enfoca en la elaboración de un análisis multitemporal que permite estimar el cambio aproximado de las coberturas de la tierra en los años 1990 y 2019 en el municipio San Carlos de Guaroa, de esta manera se obtiene un diagnóstico de las coberturas y uso actual de la tierra en el municipio. Por otro lado, la segunda metodología responde al objetivo de la identificación de los conflictos de uso del suelo y usos recomendados para el municipio, el desarrollo de la misma permite realizar el análisis del impacto ecológico, económico y social de la palma de aceite en relación con aquellas coberturas que han sido sustituidas por este cultivo.

Para el desarrollo de las dos metodologías presentadas, es fundamental la recopilación de información secundaria, esta recopilación consiste en la consulta bibliográfica proveniente de diferentes fuentes que permiten la construcción del marco teórico y normativo, revisión de antecedentes y el reconocimiento previo del área de estudio. De igual manera a nivel nacional, departamental y municipal existen diferentes entidades encargadas de la administración, generación y divulgación de información geoespacial, lo que facilita la descarga de información geográfica en formato vectorial y ráster importante para la elaboración de cartografía y diagnóstico de las principales características del área de estudio. Se consultaron fuentes como el Esquema de Ordenamiento Territorial y los Planes de Desarrollo del municipio de San Carlos de Guaroa, informes, artículos y reportes generados por Fedepalma, estudios desarrollados por autoridades y entidades ambientales relacionadas con la deforestación en Colombia como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, así como artículos y estudios desarrollados por la comunidad científica en relación con los cultivos de palma de aceite, la pérdida de cobertura vegetal, la representatividad económica, social, cultural y ecológica del cultivo y los impactos ambientales relacionados con su desarrollo.

5.1 Análisis multitemporal (Fase diagnostico)

Esta sección se encuentra definida como una fase de diagnóstico y comprende una serie de actividades que se llevaran a cabo para el cumplimiento del primer objetivo. El diagrama metodológico se presenta en la *Figura 2* y cada una de las actividades se explica a continuación:

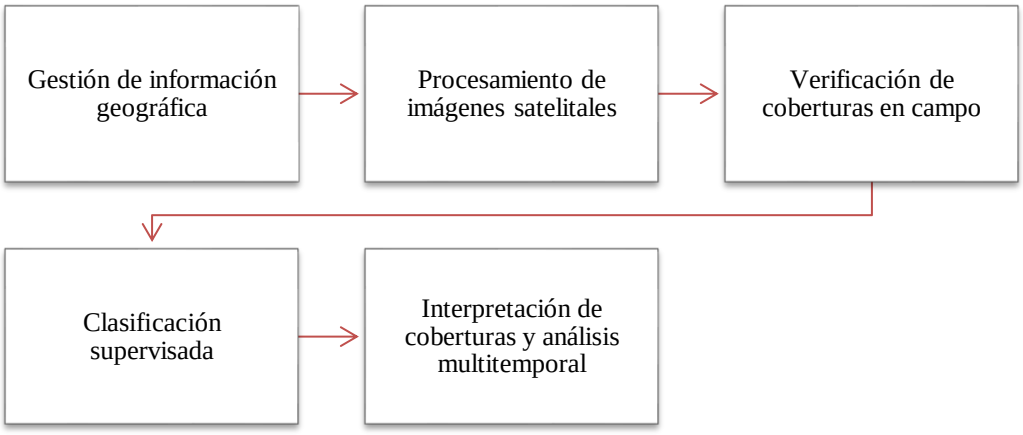


Figura 2. Resumen Metodología (Primera parte)
Fuente: Autoras, 2019.

5.1.1 Gestión de información geográfica (Fuentes secundarias)

En primer lugar, se consultó la información base de Colombia proporcionada por el Instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC), esta corresponde a información vectorial a escala 1:100.000 referida al sistema de coordenadas MAGNA – SIRGAS en formato de Geodatabase, de allí se pudo extraer la información sobre entidades territoriales, transporte terrestre y fluvial, hidrografía, relieve, orografía, construcciones del municipio de San Carlos de Guaroa. Así mismo, en esta fase se realizó la búsqueda, selección y descarga de las imágenes satelitales correspondientes a la ventana temporal evaluada, las cuales se referencian en la *Tabla 1*. El requisito principal para la selección de las imágenes satelitales fue el cubrimiento total del área de estudio con la menor ocupación de nubes posible para facilitar el análisis. Las imágenes fueron descargadas de la plataforma del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), la cual permite la consulta de imágenes satelitales, fotografías aéreas, productos cartográficos y su descarga es gratuita. Las imágenes utilizadas como insumo se presentan en la *Figura 3*.

Tabla 1. Información general Imágenes Satelitales

Año	Imagen	Fecha de adquisición
1990	Landsat 5	23/12/1989
2019	Landsat 8	23/12/2018
	Sentinel 2	25/02/2019

Fuente: Autoras, 2019.



Imagen Landsat 5 - 1989, área de estudio.



Imagen Sentinel 2- 2019, área de estudio.

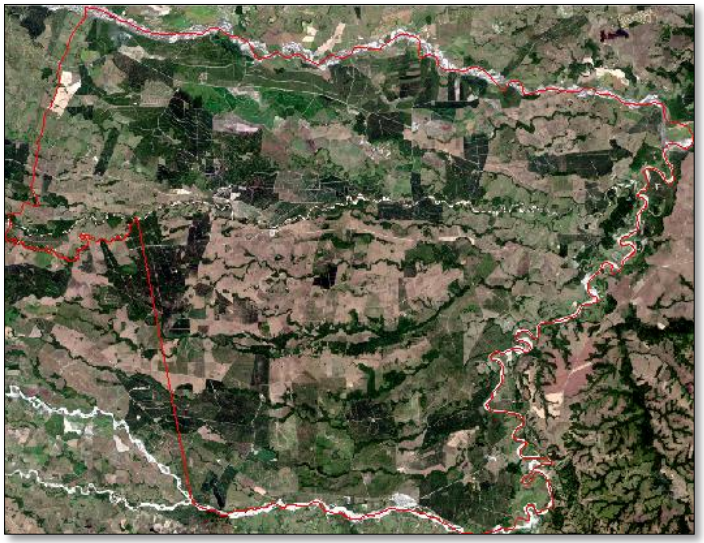


Imagen Landsat 8- 2018, área de estudio.

Figura 3. Imágenes satelitales utilizadas para el análisis multitemporal.
Fuente: Autoras, 2019.

5.1.2 Procesamiento digital de las imágenes satelitales.

Esta actividad comprende diferentes etapas que requieren de la utilización de software especializado para el análisis y procesamiento de la información ráster; en este caso se emplearon los programas ERDAS IMAGINE 2014 y ARCGIS 10.5.

En primer lugar, se realiza la composición multiespectral de las imágenes, cada una de las imágenes se compone de diferentes bandas que contienen información captada en diferentes regiones del espectro electromagnético. El proceso de composición consiste en la unión de bandas de acuerdo a sus características y a las necesidades requeridas en la interpretación. En este caso se realizó la unión de 6 bandas correspondientes al espectro visible y al infrarrojo cercano, medio y lejano obteniendo como resultado una imagen multiespectral la cual permitirá realizar diferentes tipos de combinaciones para la identificación de coberturas. Con la imagen Landsat 8, se realizó un paso adicional, ya que esta posee una banda pancromática que al combinarla con la imagen multiespectral brinda como resultado una imagen de mejor resolución.

Dado que las imágenes cubren un área geográfica mayor al área de interés, se debe realizar un corte en función del límite municipal que corresponde al área de estudio (*Figura 3*).

5.1.3 Verificación de coberturas

La actividad de verificación consiste en establecer diferentes puntos de control para realizar un monitoreo de las coberturas presentes en el territorio (para el año 2019) que van a ser identificadas en la clasificación, esta verificación constituye una parte fundamental de la confiabilidad de los datos que serán generados. Las actividades en terreno y la categorización de los puntos de control utilizados para la validación de la información tienen como principal fin aclarar dudas en el proceso de interpretación de coberturas, y se desarrollaron en zonas piloto asignadas teniendo la representatividad de la información y las posibilidades de acceso al sitio. La captura de datos se realizó mediante un receptor GPS y soportando la información mediante la toma de fotografías. Los puntos de verificación de coberturas con sus respectivas fotografías se presentan en la *Tabla 2*, mientras que en la *Figura 4* se muestra el recorrido realizado para tal fin en el área de estudio.

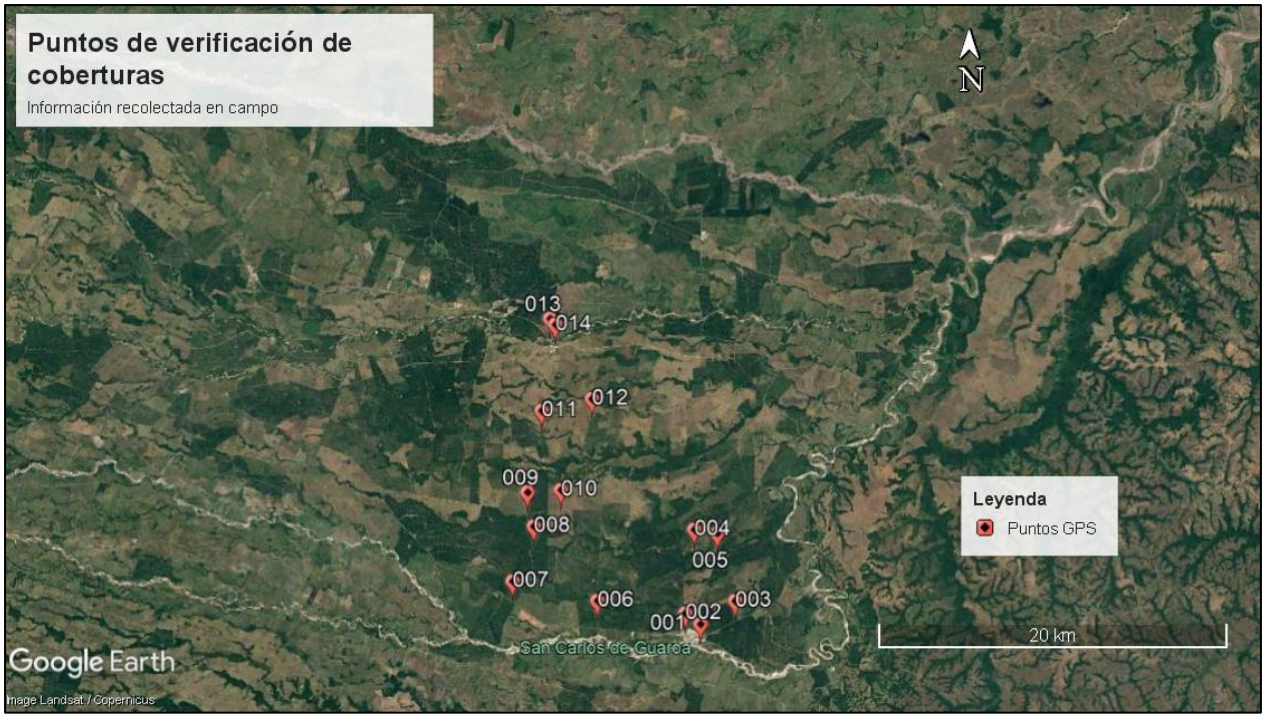


Figura 4. Mapa de puntos de verificación de coberturas de la tierra en San Carlos de Guaroa. Fuente: Autoras, 2019.

Tabla 2. Puntos de verificación de coberturas en campo.

No.	Cobertura de la tierra	Latitud	Longitud	Fotografía
001	Río	3° 42' 24,732" N	73° 14' 13,198" W	
002	Centro urbano	3° 42' 44,771" N	73° 14' 41,466" W	

No.	Cobertura de la tierra	Latitud	Longitud	Fotografía
003	Palma de aceite	3° 43' 7,768" N	73° 13' 8,774" W	
004	Pastos	3° 45' 20,212" N	73° 14' 24,767" W	
005	Bosque de galería	3° 45' 13,372" N	73° 13' 41,911" W	
006	Bosque de galería	3° 43' 8,235" N	73° 17' 24,981" W	

No.	Cobertura de la tierra	Latitud	Longitud	Fotografía
007	Palma de aceite	3° 43' 44,431" N	73° 20' 2,560" W	
008	Bosque de galería	3° 45' 26,254" N	73° 19' 23,224" W	
009	Palma de aceite	3° 46' 29,457" N	73° 19' 34,808" W	
010	Pastos	3° 46' 33,712" N	73° 18' 32,604" W	

No.	Cobertura de la tierra	Latitud	Longitud	Fotografía
011	Bosque de galería (Morichal)	3° 49' 0,638" N	73° 19' 8,611" W	
012	Bosque de galería (Morichal)	3° 49' 22,641" N	73° 17' 35,188" W	
013	Palma de aceite	3° 51' 51,261" N	73° 18' 53,016" W	
014	Río	3° 51' 40,299" N	73° 18' 42,899" W	

5.1.4 Clasificación supervisada (años 1990 y 2019).

Una vez se han completado las actividades anteriores, se procede a realizar la clasificación supervisada de las imágenes. El proceso de clasificación consiste en agrupar pixeles con un mismo valor de reflectancia en diferentes clases, en esta etapa se definen las áreas de entrenamiento basados en el conocimiento previo de la zona de estudio y los puntos de control establecidos en campo; para este caso se definieron 9 clases importantes que serán relevantes para el análisis corresponden a categorías obtenidas de acuerdo a la metodología CORINE Land Cover y que se presentan en la *Tabla 3***.** De acuerdo con esto se seleccionan las diferentes muestras en la imagen que permitirán definir los valores espectrales de cada clase y de esta manera obtener la clasificación de coberturas. El resultado arrojado con el software corresponde a información ráster que asociara cada pixel con una cobertura. Para mayor facilidad de manejo de la información esta se convierte a formato vector o polígono lo que permitirá establecer la extensión en hectáreas de cada uno de las coberturas definidas anteriormente.

Las clasificaciones se realizan con la imagen Landsat 5 para el año 1990 y Landsat 8 para el año 2019, sin embargo, para este último año se cuenta con algunas herramientas adicionales que son de gran ayuda para la interpretación visual de coberturas como imágenes Sentinel, imágenes proporcionadas por Google Earth y los puntos de verificación.

Tabla 3. Coberturas definidas para la clasificación

Símbolo	Clase de cobertura de la tierra
	Áreas abiertas, sin o con poca vegetación
	Bosque de galería y ripario
	Bosque denso alto inundable
	Herbazal abierto
	Mosaico de pastos y cultivos
	Palma de aceite
	Superficies de agua
	Zonas Pantanosas
	Zonas urbanizadas

Fuente: Autoras, 2019.

5.1.5 Interpretación de coberturas y análisis multitemporal

Finalmente, los resultados de la clasificación permitirán el análisis multitemporal, el cual se basa en la identificación de procesos de pérdida o ganancia de cobertura y la distribución espacial de estas en el municipio, durante el periodo de tiempo establecido para el estudio. Se obtiene así una tabla que reúne los datos que corresponden a la cobertura de la tierra, la extensión en hectáreas para los años evaluados y la diferencia entre estos.

5.2 Identificación conflictos de uso del suelo y propuesta de uso recomendado (Fase propuesta)

La segunda fase está definida como la fase de propuesta, responde a las actividades que se llevarán a cabo para dar cumplimiento al segundo objetivo específico, dichas actividades están definidas en el diagrama metodológico presentado en la *Figura 5***.**

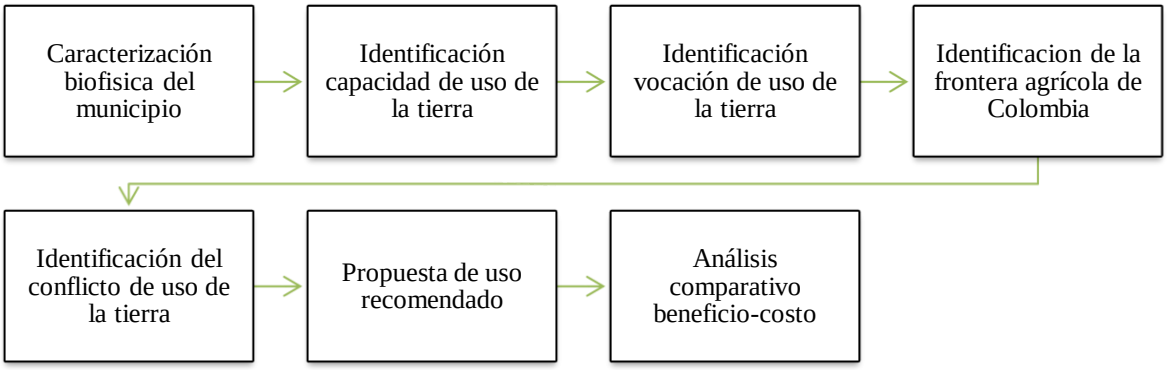


Figura 5. Resumen Metodología (Segunda parte).
Fuente: Autoras, 2019.

5.2.1 Caracterización biofísica del municipio

La caracterización biofísica del municipio San Carlos de Guaroa tiene como objetivo reunir información diagnostica en términos de las condiciones naturales del territorio, e incluye información sobre división político administrativa, climatología, geomorfología, suelos, pendientes, biomas, hidrografía y aguas subterráneas. La caracterización se realizó a partir de información base consultada en fuentes nacionales como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), el Instituto de Investigaciones Marinas y costeras "José Benito Vives de Andréis" (INVEMAR), el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP) y el Servicio Geológico Colombiano (SGC). A Partir de la información geográfica consultada se generó la cartografía y las tablas de cada uno de los componentes biofísicos mencionados anteriormente.

5.2.2 Identificación de la Capacidad de uso de la tierra

Para la definición de la capacidad de uso de la tierra se elabora la cartografía y la tabla que reúne la información principal tomando como base el mapa de capacidad de uso de las tierras de Colombia a escala 1:100.000 publicado en el año 2000. Esta información se encuentra en formato shape disponible en el geoportal del IGAC, en la sección de datos abiertos de la subdirección de agrología, suministra información importante acerca de las potencialidades y limitaciones de uso de las tierras a partir del análisis de las características de los suelos (IGAC, 2009). Los atributos que se encuentran dentro de esta capa son: Clase, Subclase, Grupo de manejo, Principales Limitantes y Prácticas de Manejo.

5.2.3 Identificación de la Vocación de uso de la tierra

Una vez identificada la capacidad de uso de la tierra se procede a consultar la información referente a la vocación de uso de la tierra en el municipio de San Carlos de Guaroa. La información fue consultada de igual manera en la sección de datos abiertos de agrología del geoportal del IGAC. Allí se encuentra el mapa de clasificación de las tierras por su vocación de uso a escala 1:100.000. La capa contiene información sobre la vocación general de uso de la tierra y una subdivisión de la vocación que hace referencia a los usos principales recomendados, a partir de esta información se realizó un mapa de Vocación y una tabla con los resultados encontrados en el municipio.

5.2.4 Identificación de la Frontera agrícola nacional

El análisis de la frontera agrícola nacional se realizó mediante la identificación de las unidades presentes en el municipio de San Carlos de Guaroa. La información base para la elaboración del mapa y la tabla de resultados es brindada por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. La capa se encuentra a escala 1:100.000 y contiene información espacial sobre las áreas que se encuentran dentro de la frontera agrícola nacional, áreas de exclusiones legales y bosques naturales y áreas no agropecuarias.

5.2.5 Identificación de conflictos de uso del suelo

Para la identificación de conflictos de uso del suelo se consultó el estudio sobre los conflictos de uso del territorio colombiano elaborado en el año 2012 por el instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC), junto con el ministerio de agricultura y desarrollo rural (MADR), el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (MADS) y otras entidades, este estudio fue elaborado con el objetico de identificar los conflictos de uso a escala 1:100.000, constituyendo una herramienta de planificación del territorio. La información consultada contiene la especialización de tierras con conflictos como sobreutilización, subutilización (IGAG, 2012).

Además de esto se consultó el mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos a escala 1:100000 que contiene información sobre la clasificación de coberturas de la tierra (IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP, 2007). Esta información permite elaborar un diagnóstico aproximado del uso actual de la tierra y los conflictos presentes en el territorio. De acuerdo con lo anterior se realizará un contraste de la información de coberturas relacionada con el tipo de conflicto.

5.2.6 Propuesta de uso recomendado del suelo

Una vez elaborada la línea base del municipio con la descripción biofísica e identificada la capacidad y vocación de uso de la tierra, frontera agrícola y conflictos de uso, se procese a definir el uso recomendado del suelo. Esta propuesta determina el uso óptimo de los suelos, mediante el planteamiento de usos alternativos y sostenibles de la tierra, resulta de la superposición de los mapas de uso actual del suelo con el mapa de capacidad de uso del suelo, además del análisis de geomorfología, pendientes, clima y suelos.

De acuerdo con el esquema de ordenamiento territorial la estructura ecológica principal del municipio San Carlos de Guaroa comprende los ecosistemas estratégicos identificados. Los ecosistemas estratégicos entenderse como espacios que por sus características propias y diferenciables tienen la capacidad de cumplir funciones naturales, brindando bienes y servicios ecológicos vitales para el mantenimiento de la sociedad y la naturaleza (Rojas, 2016). De acuerdo con lo anterior, mediante un análisis de coberturas de la tierra actual se identificarán los ecosistemas estratégicos los cuales serán incluidos en primera categoría de uso propuesto que corresponde a las áreas de protección y conservación, dentro de esta categoría se incluyen todas las coberturas vegetales que actualmente se encuentran amenazadas por procesos antrópicos, los cuerpos de agua, y las rondas hídricas de acuerdo a lo determinado por la ley (Decreto 1449 de 1977, Artículo 3).

Por otro lado, se encuentran las actividades económicas desarrolladas en el municipio de San Carlos de Guaroa que serán agrupadas en la categoría de Áreas productivas, la cual incluye todas las áreas aptas para las actividades agropecuarias, orientado hacia las buenas prácticas. Finalmente, la última categoría por definir corresponde a las Áreas de desarrollo urbano, las cuales corresponden a las áreas que se encuentran destinadas para las concentraciones urbanas y sus áreas de expansión.

5.2.7 Análisis comparativo beneficio-costo

La comparación entre el beneficio-costo que acarrea consigo el desarrollo de las principales actividades productivas que se llevan a cabo actualmente en San Carlos de Guaroa se realizó únicamente a través de la consulta, revisión y análisis de información secundaria, debido a que el propósito central de esta sección es identificar cuál de las tres actividades evaluadas (cultivo de palma de aceite, cultivo de arroz de riego y ganadería extensiva) genera mayores rendimientos económicos y vinculación de mano de obra; teniendo en cuenta lo anterior, se consultaron los datos oficiales de censos, series históricas, estudios económicos y estadísticas de la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma), la Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ) y la Federación Colombiana de Ganaderos (Fedegan). Ahora, para el caso de los bosques naturales presentes en el municipio y teniendo en cuenta las características de estos sistemas naturales, la identificación de la relación beneficio-costo no se llevó a cabo en términos de producción (debido a que los casos anteriores corresponden a sistemas antrópicos con un único fin económico) sino analizando la oferta de bienes y servicios ecosistémicos que estos le proporcionan a la comunidad local y, en general, al sistema ambiental de la región; por consiguiente, la información tomada como base se obtuvo de artículos investigación, resultados de estudios académicos y otras fuentes similares que permiten mencionar mediante una base científica el valor y la importancia de los ecosistemas naturales en áreas de poca y alta intervención, y la necesidad de protegerlos teniendo en cuenta los altos niveles de degradación a los que, por causas naturales y antrópicas, están constantemente expuestos.

6 Resultados

De acuerdo con los objetivos específicos planteados en el marco del desarrollo del presente proyecto, la presentación y análisis de resultados se abordará desde dos perspectivas, a fin de mantener el orden y la lógica que se ha venido ejecutando en este documento. De esta manera, la primera parte comprenderá la interpretación de los resultados del análisis multitemporal, mientras que la segunda parte abordará la discusión de los resultados de la identificación de los conflictos de uso del suelo y la propuesta de uso recomendado, ambas para el municipio San Carlos de Guaroa, Meta. Vale la pena mencionar que los datos presentados como resultado de este proyecto investigativo son una aproximación a la realidad y no pretenden asentar una última palabra frente a la realidad analizada, y que a pesar de que toda la información utilizada para lograr estos resultados proviene de fuentes oficiales nacionales, las unidades de mapeo y la escala de trabajo de la información no permiten dar certeza absoluta sobre las características o transformaciones del territorio.

6.1 Análisis multitemporal

El análisis multitemporal se desarrolló para dos periodos de tiempo: el primero, correspondiente al año 1990, se definió teniendo en cuenta que a partir de esta fecha las políticas económicas orientaron el desarrollo agrario del país hacia el aprovechamiento de las ventajas comparativas y competitivas del mercado internacional, lo cual se vio reflejado en la expansión e intensificación de la ganadería y en la inversión extranjera para el establecimiento de complejos agroindustriales; así, durante el gobierno de 1990 – 1994 se creó la Comercializadora de Palma de Aceite S.A. y el Fondo de Fomento Palmero, dando inicio formal a la exportación de aceite de palma en el país, emprendiendo a su vez la creación de economías a escala a través de la asociación de pequeños productores con grandes empresarios (Rojas, 2016). El segundo periodo (año 2019) se definió considerando que corresponde al año de desarrollo de la metodología y del proceso de recolección y procesamiento de la información obtenida.

La caracterización de las coberturas presentes en el municipio se llevó a cabo mediante la metodología de CORINE Land Cover (Coordination of Information on the Environment) adaptada para Colombia, teniendo como resultado nueve (9) categorías para el área de estudio. Los resultados obtenidos permiten identificar las coberturas presentes en el municipio San Carlos de Guaroa en los años 1990 y 2019, y analizar el cambio de las mismas en un periodo de evaluación de 29 años. Así, se presentan en la *Tabla 4* los datos correspondientes a la extensión de cada clase de cobertura de la tierra presente en el área de estudio para cada unidad de tiempo, mientras que en la *Figura 6* y *Figura 7* se muestra la cartografía respectiva que arrojó el desarrollo del análisis multitemporal. En la *Tabla 5* se especifican los niveles de clasificación y se describen los diferentes tipos de cobertura y usos del suelo de acuerdo a la información tomada de leyenda nacional de coberturas de la tierra (IDEAM; Sinchi; IAvH; IGAC; UAESPNN, 2010).

Tabla 4. Resultados análisis multitemporal.

Cobertura de la tierra	Área (ha) año 1990	Área (ha) año 2019	Diferencia áreas (ha)	% ocupación (2019)
Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	945,37	1.620,43	675,06	2,01
Bosque de galería y ripario	11.935,43	4.808,79	-7.126,64	5,96
Bosque denso alto inundable	1.512,82	2.560,05	1.047,23	3,17
Herbazal abierto	13.306,91	6.767,02	-6.539,89	8,38
Mosaico de pastos y cultivos	32.026,91	19.999,27	-12.027,64	24,78
Palma de aceite	18.533,67	40.735,18	22.201,51	50,46
Superficies de agua	779,61	1.057,59	277,98	1,31
Zonas Pantanosas	1.649,72	2.562,83	913,11	3,17

Cobertura de la tierra	Área (ha) año 1990	Área (ha) año 2019	Diferencia áreas (ha)	% ocupación (2019)
Zonas urbanizadas	37,96	610,09	572,13	0,76
TOTAL	80.728,39	80.728,39	-	100,00

Fuente: Autoras, 2019.

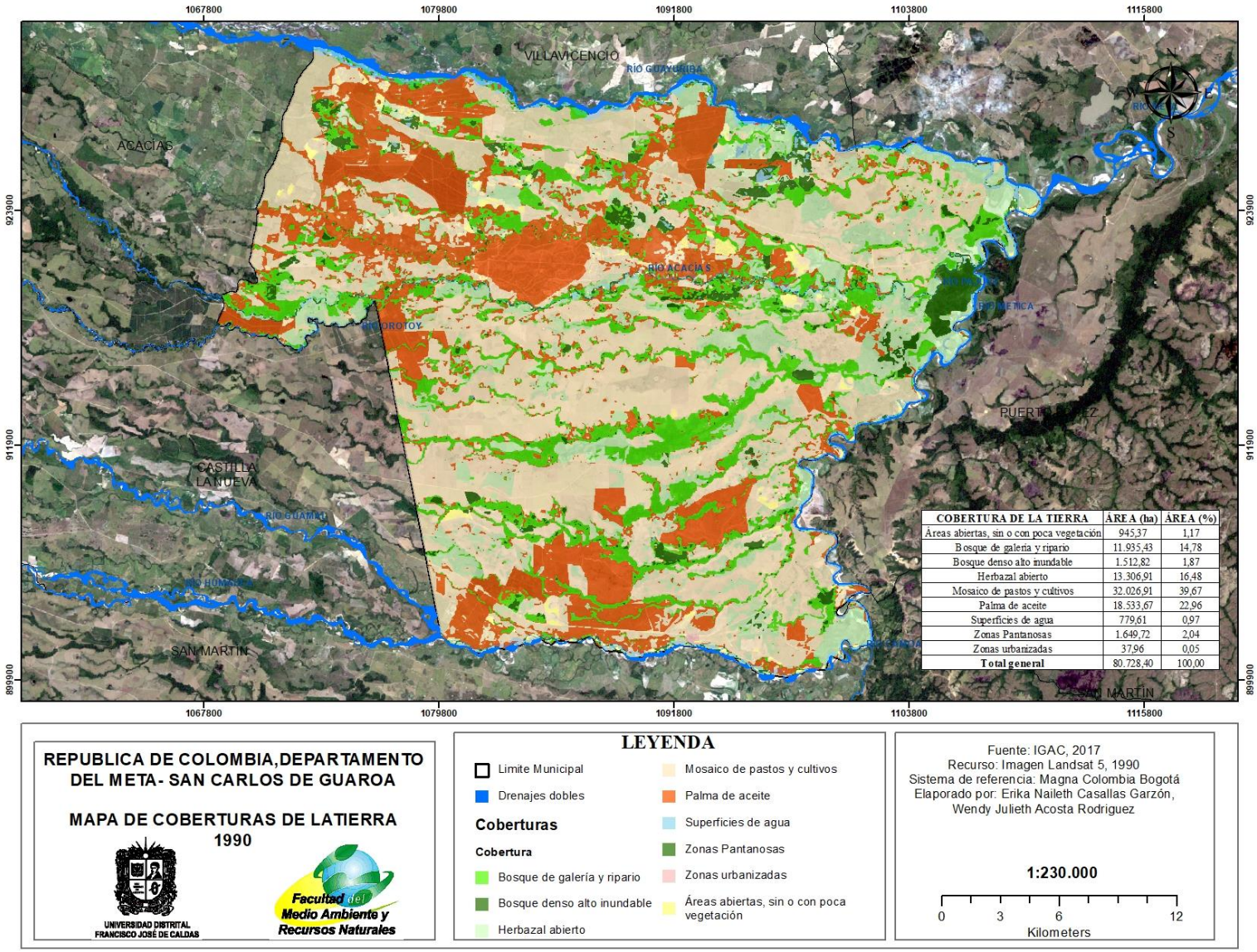


Figura 6. Mapa de coberturas de la tierra municipio San Carlos de Guaroa año 1990.
Fuente: Autoras, 2019.

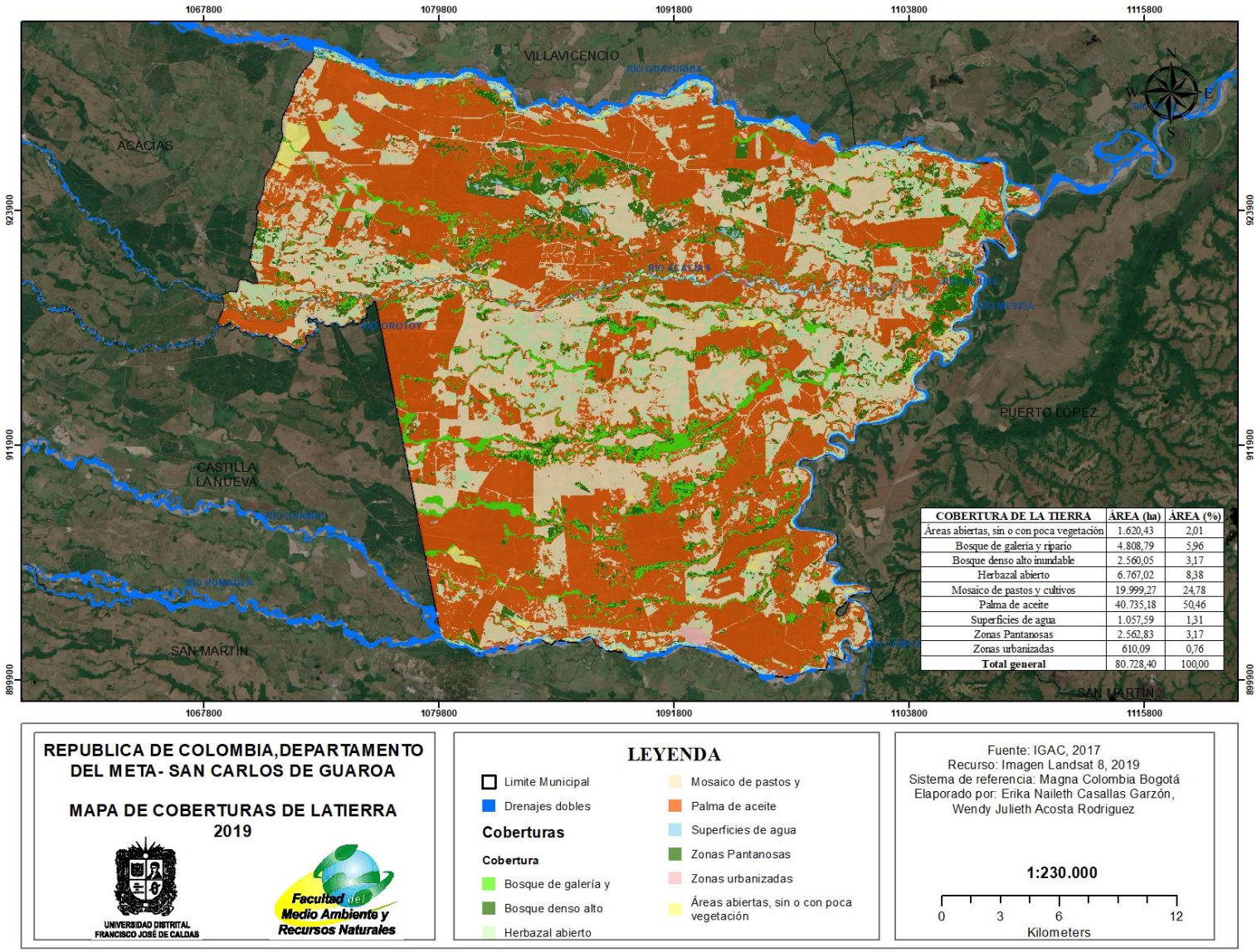


Figura 7. Mapa de coberturas de la tierra municipio San Carlos de Guaroa año 2019.
Fuente: Autoras, 2019.

Tabla 5. Descripción de Coberturas de la tierra

S	Nivel CORINE Land Cover			Descripción de la cobertura
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	
	3. Bosques y Áreas seminaturales	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3.3.1. Zonas arenosas naturales 3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	Comprende los territorios en los que no existe cobertura vegetal o es escasa. En este caso comprende suelos desnudos y coberturas arenosas; las zonas arenosas naturales hacen referencia a terrenos bajos y planos constituidos principalmente por suelos arenosos y pedregosos que conforman las playas de los ríos; y las tierras desnudas y degradas son terrenos desprovistos de vegetación debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema y/o condiciones climáticas extremas.
	3. Bosques y Áreas seminaturales	3.1. Bosques	3.1.4. Bosque de galería y ripario	Esta cobertura se encuentra constituida por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de los ríos, ya que bordea los drenajes naturales. Estos bosques son protectores y pueden alcanzar de 20 a 30 metros de ancho en total. Dentro de esta categoría encontramos también los denominados palmares o morichales, los cuales corresponden a comunidades dominadas por la palma de moriche y ocupan las depresiones y áreas inundadas principalmente en la Orinoquia colombiana.
	3. Bosques y Áreas seminaturales	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso	Esta cobertura se caracteriza porque su formación vegetal no ha sido intervenida; estos bosques pueden estar localizados en franjas adyacente a los cuerpos de agua por lo que pueden presentar procesos de inundación periódicos.
	3. Bosques y Áreas seminaturales	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.1.2. Herbazal abierto	Esta cobertura se ubica en extensas áreas planas y se encuentra constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos herbáceos. Es una cobertura de tipo natural con poca o ninguna intervención antrópica.
	2. Territorios agrícolas	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	Comprende tierras ocupadas por pastos y cultivos, y en este caso el patrón de distribución es demasiado confuso para representarlos cartográficamente de manera individual. Dentro de esta cobertura encontramos principalmente cobertura de pastos con uso de pastoreo semi intensivo. Además de esto se encuentran áreas ocupadas por cultivos anuales o transitorios con un uso de agricultura semi intensiva, donde destaca el cultivo de arroz, cítricos y otros cereales.
	2. Territorios agrícolas	2.2. Cultivos permanentes	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	En esta cobertura se clasificaron dentro del Nivel 4, los cultivos de Palma de aceite. Esta cobertura es dominada por la especie *Elaeis guineensis Jacq.*, planta perenne de tronco solitario y hojas pinnadas perteneciente a la familia Arecaceae, que puede alcanzar alturas de hasta 12 m. Su cultivo se desarrolla preferencialmente en terrenos planos a ligeramente ondulados, en tierras situadas por debajo de los 500 msnm, bajo climas cálidos.

S	Nivel CORINE Land Cover			Descripción de la cobertura
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	
	5. Superficies de agua	-	-	La cobertura de superficies de agua se expone de manera general (primer nivel) y comprende todos los cuerpos de agua permanentes o no, presentes en el municipio. Agrupa ríos, lagunas, canales y cuerpos de agua artificiales.
	4. Áreas húmedas	4.1. Áreas húmedas continentales	4.1.1. Zonas Pantanosas	Las zonas pantanosas comprenden las tierras bajas comunes en la región que permanecen inundadas durante la mayor parte del año, en el municipio se pueden encontrar las llanuras de inundación.
	1. Territorios artificializados	1.1. Zonas urbanizadas	-	Este tipo de cobertura comprende áreas de ciudades o poblaciones, así como territorios cubiertos por infraestructura de uso comercial o industrial. En este caso la cobertura de territorios artificializados alude a zonas urbanizadas que configuran un tejido urbano como lo son los centros poblados del municipio, además, comprende áreas con infraestructura utilizada para actividades industriales como es el caso de las plantas extractoras de aceite de palma de la región.

Fuente: (IDEAM, 2010).

Con base en los resultados del análisis multitemporal, se incluyó en la *Tabla 4* una columna denominada "Diferencia áreas (ha)", la cual refleja la comparación entre la extensión de una misma cobertura en el periodo de tiempo evaluado. De esta manera, el signo del valor resultante representa la ganancia o pérdida de la cobertura, siendo el signo positivo sinónimo de adición en la extensión y el signo negativo reflejo de una disminución en el área de la cobertura; este balance también se presenta gráficamente en la *Figura 8*.

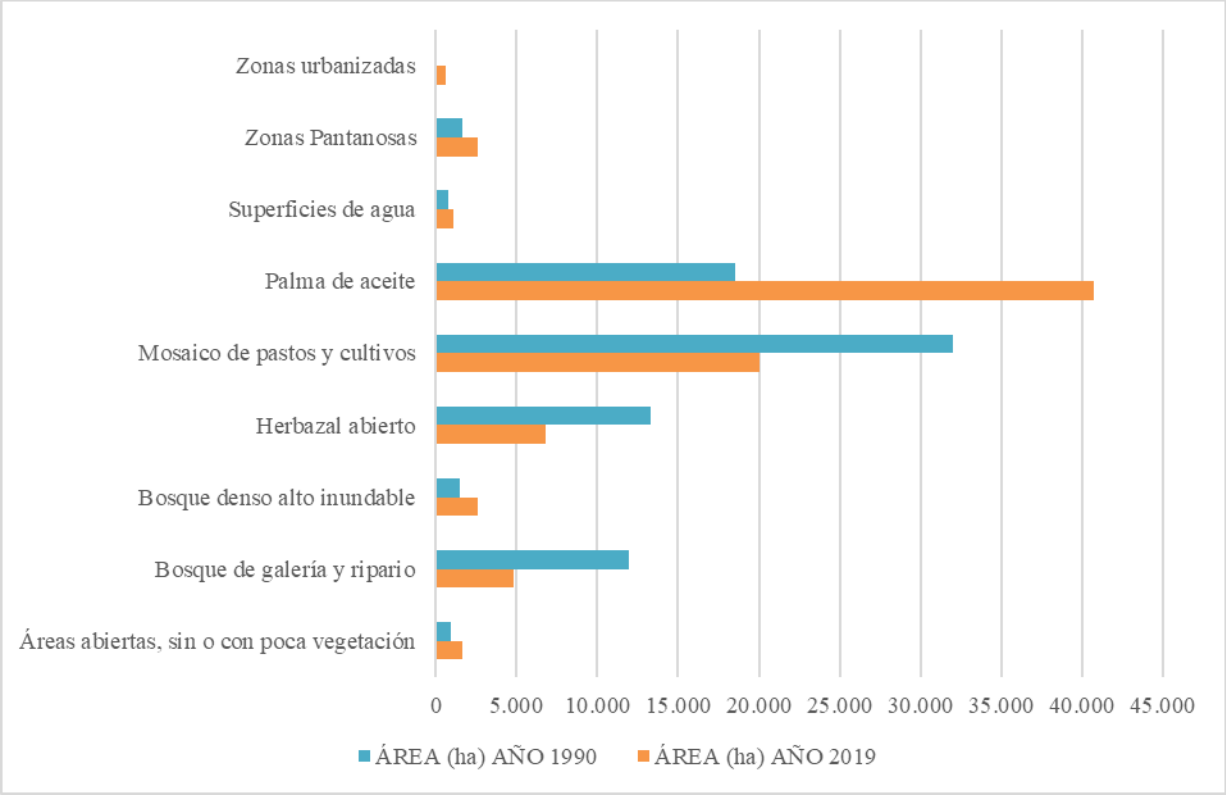


Figura 8. Extensión de cada clase de cobertura de la tierra en los periodos evaluados.
Fuente: Autoras, 2019.

Mediante la comparación de los resultados presentados anteriormente, es posible afirmar que las coberturas que en el periodo 1990 – 2019 tuvieron pérdida de área en el municipio San Carlos de Guaroa fueron el Bosque de galería y ripario, con una disminución de 7.126,64 ha de la extensión inicial, Herbazal abierto, con una baja de 6.539,89 ha y el Mosaico de pastos y cultivos, con una merma de 12.027,64 ha. En contraste, las coberturas que ganaron extensión a lo largo de los 29 años analizados corresponden a la Palma de aceite con 22.201,51 ha adicionales, Bosque denso alto inundable (1.047,23 ha) y Zonas pantanosas (913,11 ha). Siendo el objeto de estudio de este proyecto la palma africana, en este caso el análisis está dirigido a evaluar qué tipo de coberturas fueron reemplazadas para la instauración de este cultivo; de esta manera, ante el significativo crecimiento de la Palma de aceite podría afirmarse que su expansión se dio en aquellas coberturas en las que se identificó pérdida de superficie, las cuales corresponden a Mosaico de pastos y cultivos, Herbazal abierto y Bosque de galería y ripario, siendo inadmisible generar una aseveración directa.

De acuerdo con el Censo Nacional de Palma de Aceite, el municipio San Carlos de Guaroa inició el desarrollo de este cultivo en el año 1981 con un área neta de 59 ha; posteriormente, en el periodo 1982 – 1986 el área neta sembrada pasó a 3.563 ha y entre 1987 – 1991 el área correspondió a 6.810 ha (SISPA & Fedepalma, 1997), teniendo en consecuencia entre 1981 y 1991 un total de 10.432 ha sembradas en la zona de estudio, lo cual discrepa con los resultados arrojados por el análisis multitemporal (*Tabla 4*) en el que se identificaron para el año 1990 18.533,67 ha, es decir, 8.101,67 ha más que las reportadas oficialmente por

dicho Censo. Para efectos de la discusión de resultados, se consultaron documentos oficiales del municipio, siendo estos el Esquema de Ordenamiento Territorial y el Plan de Desarrollo Territorial de San Carlos de Guaroa; en este último, el municipio reporta para el año 2015 un área sembrada aproximada de 45.000 ha (Alcaldía Municipal San Carlos de Guaroa, 2016) siendo esta cifra cercana (aunque no con exactitud) a la arrojada por el análisis multitemporal expuesto en este documento y que corresponde a 40.735,18 ha para el año 2019.

Como uno de los objetivos del presente trabajo es estimar el cambio de las coberturas de la tierra en relación con el cultivo de palma de aceite del municipio, abordaremos de manera especial las coberturas que han representado la mayor significancia histórica al interior del desarrollo agropecuario de San Carlos de Guaroa en el periodo 1990 – 2019, siendo estas el Mosaico de pastos y cultivos y la Palma de aceite, que reportaron las mayores extensiones de coberturas artificiales en el área evaluada de acuerdo a los resultados de este trabajo; dentro de la categoría de Mosaico de pastos y cultivos sobresalen coberturas en las que se llevan a cabo dos actividades productivas, tal como se mencionó en la *Tabla 5*: la primera es el cultivo de arroz de riego y secano mecanizado y la segunda es la ganadería extensiva, ambas predominantes en el suelo rural del municipio (Alcaldía Municipal San Carlos de Guaroa, 2016). En este sentido, se buscó la confrontación de los resultados obtenidos por el análisis multitemporal con información secundaria, encontrando que para el 2015 el municipio registraba 2.200 ha sembradas con arroz de riego y 420 ha sembradas con arroz secano mecanizado, teniendo un total de 2.620 ha cultivadas con arroz (Alcaldía Municipal San Carlos de Guaroa, 2016); sin embargo, los resultados del Censo Nacional Arrocero reportaban en 2016 un total de 3.243 ha sembradas con este cultivo en el municipio, con una participación del 0,6 % a nivel departamental (DANE, 2016). Así mismo, se reportaron para 2015 140 ha sembradas en caucho, 178 ha de cítricos, 53 ha de papaya, 15 ha de cacao, 12 ha de caña panelera, 140 ha de plátano y 60 ha de yuca (Alcaldía Municipal San Carlos de Guaroa, 2016). En consecuencia, el área total dedicada a la actividad agrícola en el municipio para el año 2015 fue de 48.218 ha.

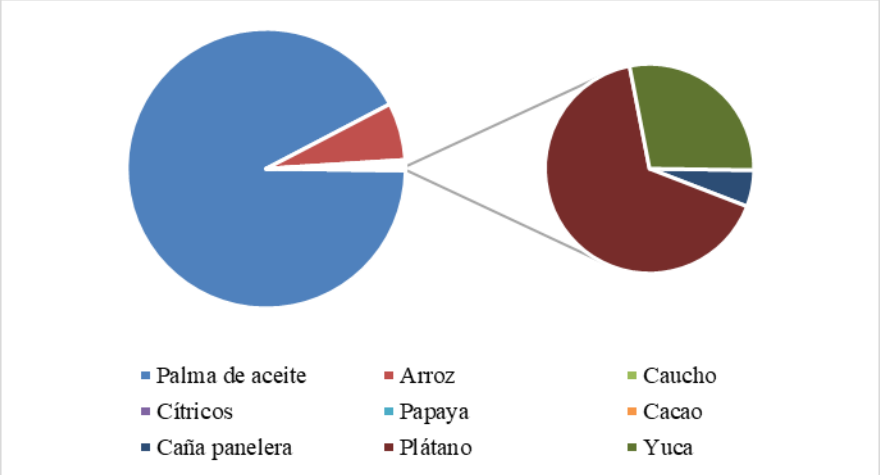


Figura 9. Actividades agrícolas de San Carlos de Guaroa.
Fuente: (Alcaldía Municipal San Carlos de Guaroa, 2015).

De este modo, tanto la información reportada por el municipio como los datos resultantes del análisis multitemporal tuvieron en común la identificación de la Palma de aceite como el cultivo de mayor representatividad en términos de extensión, ocupando cerca del 55 % de la superficie total de San Carlos de Guaroa (*Figura 9*). La importancia de este cultivo (en términos productivos) para el municipio data de finales del siglo XX, cuando se reportaba la existencia de 5 Plantas Extractoras con una capacidad de 75 t/RFF/h; posteriormente, en 2012 San Carlos de Guaroa participaba con el 21,77 % de la producción de palma de aceite a nivel departamental, superando así a municipios como Puerto Gaitán, San Martín y

Acacías. De igual forma, la expansión de este cultivo ha estado estrechamente relacionada con el procesamiento agroindustrial del mismo, con las políticas nacionales del sector primario y con los requerimientos internacionales en términos de aceite de palma, aceite de palmiste y biodiesel; para este mismo año en el municipio se registraban un total de seis (6) plantas de beneficio de gran importancia a nivel municipal y nacional, como lo son Aceites Manuelita S.A. (capacidad de procesamiento de 52 t/h), Extractora La Paz (capacidad de procesamiento de 20 t/h), Oleaginosas San Marcos (capacidad de procesamiento de 15 t/h), Servicios de Maquila Agrícola de Los Llanos S.A.S. (capacidad de procesamiento de 15 t/h), Aceites Morichal S.A.S. (capacidad de procesamiento de 8 t/h) y Baquero Ramírez Víctor Ramón (capacidad de procesamiento de 6 t/h) (Fedepalma, 2013), las cuales, como es evidente, requieren de altas cantidades de Racimos de Fruta Fresca para el procesamiento industrial y la obtención de los productos anteriormente mencionados.

6.2 Identificación conflictos de uso y propuesta de uso recomendado del suelo

En la segunda fase metodológica, denominada identificación de conflictos de uso y propuesta de uso recomendado, se obtuvieron los resultados presentados a continuación. De acuerdo al proceso metodológico previamente descrito, los resultados se presentan en subsecciones de manera que se logre una mayor comprensión de los mismos.

6.2.1 Caracterización biofísica del municipio San Carlos de Guaroa

El municipio de San Carlos de Guaroa se localiza en la parte centro occidental del departamento del Meta y limita al oriente con el municipio de Puerto López, al norte con el municipio de Villavicencio y Puerto López, al sur con el municipio de San Martin y al occidente con los municipios de Castilla la Nueva y Acacias *Figura 10*. Sobre su extensión no hay una cifra exacta, ya que dentro del Plan de Desarrollo del Municipio se reportan 78.687 ha que se clasifican en suelo urbano, suelos de expansión y suelos rurales (Alcaldía Municipal San Carlos de Guaroa, 2016), mientras que en algunas secciones del Esquema de Ordenamiento Territorial se registran 80.269,87 ha (Alcaldía Municipal San Carlos de Guaroa, 2015). El municipio se divide en 3 inspecciones y 11 veredas alrededor del casco urbano; así mismo, cuenta con tres vías de acceso que comunican con la capital del departamento y con municipios aledaños. La carretera de mayor afluencia que comunica con Villavicencio cuenta con 108 km por la ruta cabecera municipal – la Palmera- Alto Pompeya. La segunda vía de acceso con Villavicencio comunica con el municipio de Acacias con una distancia de 138 km y la tercera vía conduce a la carretera a Castilla la Nueva, pasando por la Inspección San Lorenzo y El Toro con 148 km de recorrido; se encuentra a una distancia aproximada de 207 km de la ciudad de Bogotá y a 89 km de la capital del departamento, Villavicencio (Alcaldía Municipal San Carlos de Guaroa, 2016).

El municipio posee un clima tropical, la temperatura media anual presenta muy poca variación y los valores oscilan desde 24° C hasta 28°C; la distribución de la precipitación es monomodal, con temporada de lluvias a partir del mes de abril prolongándose hasta el mes de octubre; su relieve está compuesto principalmente por planicies aluviales de los ríos Guamal, Metica, Acacias y Guayuriba, en cuya terminación- se observan terrazas medias y bajas. Debido a las condiciones físicas que presenta tanto en suelos, topografía, clima y relieve, la principal actividad económica del municipio está basada en el sector agrícola y pecuario, predominando los cultivos de la palma africana, arroz, yuca y plátano (Alcaldía Municipal San Carlos de Guaroa, 2016).

A continuación, se presentan las características generales referentes al diagnóstico del municipio con base en información secundaria, que permiten contextualizar el área de estudio en un medio que incorpora condiciones físicas, ambientales y sociales.

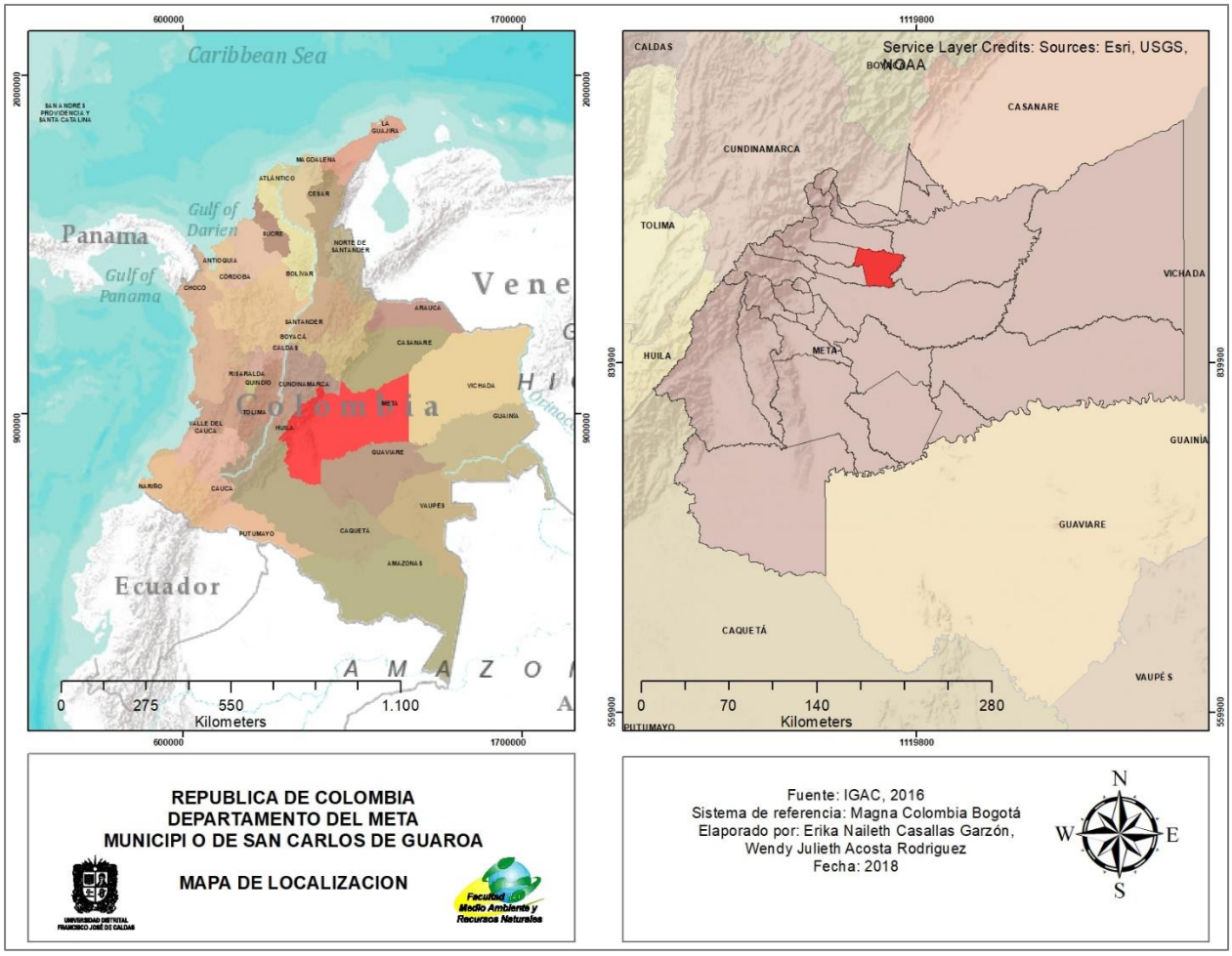


Figura 10. Mapa de localización del área evaluada, municipio San Carlos de Guaroa. Fuente: IGAC, 2016 & Autoras, 2019.

6.2.1.1 Clima

El clima es el conjunto fluctuante de las condiciones de la atmósfera, caracterizado por los estados y evoluciones meteorológicas de una zona en un periodo de tiempo y lugar determinados; este es controlado por diferentes factores y por la interacción entre los componentes del sistema climático (Albentosa, 1990). El municipio de San Carlos de Guaroa presenta dos tipos de clima según la zonificación climática de Colombia (IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP, 2007) cuya caracterización se basó en los regímenes térmicos y de humedad de la geografía colombiana; los elementos considerados más relevantes para dicha caracterización fueron la temperatura y la precipitación. La *Tabla 6* muestra los tipos de clima del área de estudio.

Tabla 6. Características climatológicas de San Carlos de Guaroa.

Tipo de clima	Rango altitudinal	Rango de temperatura	Rango de precipitación anual
Cálido húmedo	0 - 800 m.s.n.m.	>24° C	2.000 – 3.000 mm/año
Cálido seco	0 - 800 m.s.n.m.	>24° C	1.000 – 2.000 mm/año

Fuente: (IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP, 2007)**.**

El clima del municipio presenta un comportamiento uniforme en toda su extensión, encontrándose un periodo de verano que abarca los meses de diciembre a marzo (con mayor predominancia en enero) y dos periodos de invierno (siendo el primero en los meses de abril y junio y el segundo entre septiembre y octubre) donde las lluvias más intensas suelen ocurrir en mayor, con alrededor de 384,5 mm. Así mismo, la temperatura media de San Carlos de Guaroa corresponde a 29 °C correspondiendo a una clasificación del clima de tropical húmedo, presentándose en el periodo de verano una temperatura media de 26,63 °C y en invierno logra los 18,13 °C (Alcaldía Municipal San Carlos de Guaroa, 2015).

6.2.1.1.1 Brillo solar

Asociado a la temperatura se encuentra el brillo solar o heliofanía en horas, que corresponde al tiempo total durante el cual incide luz solar directa sobre una zona determinada entre el alba y el atardecer y el total de horas de brillo solar de un lugar es uno de los factores que determinan el clima de un área en conjunto con otras características específicas (IDEAM, 2011). Para San Carlos de Guaroa y de acuerdo a información del IDEAM sobre los promedios mensuales de brillo solar en la estación de este municipio (horas de sol al mes) se presenta en la *Tabla 7*.

Tabla 7. Brillo solar San Carlos de Guaroa.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total anual
207,7	142,8	136,4	126	127,1	114	124	136,4	162	161,2	162	204,66	1.804,26

Fuente: (IDEAM, 2012)**.**

Con base en la anterior información se concluye que al año en San Carlos de Guaroa se presentan 1.804,26 horas de heliofanía, donde los meses en que se presenta mayor brillo solar corresponden a enero (207,7 h/mes), diciembre (204,66 h/mes) y noviembre (162 h/mes), los cuales corresponden al periodo de verano del municipio de acuerdo a la información general presentada anteriormente; en contraste, durante los meses de abril a mayo los niveles de heliofanía son más bajos como consecuencia del periodo de invierno que ocurre durante este tiempo.

6.2.1.2 Geología

La geología como ciencia que estudia el origen, formación y evolución de los materiales que componen la estructura de la superficie de la tierra permite (Iriondo, 1993) la comprensión de los procesos y fenómenos que actúan sobre ella; en el marco de un modelo de desarrollo social, económico y ambiental como el que se desarrolla en el presente documento, el conjunto de características del subsuelo o de la corteza terrestre proporciona las bases técnicas para la toma de decisiones en los proyectos y procesos productivos que se desarrollen en el sector objeto de estudio .

El análisis geológico de la zona que comprende los predios en estudio se basó en los estudios y cartografía desarrollada por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) para el área que comprende al municipio de estudio y que corresponde a la plancha 286. Por consiguiente, los resultados de análisis arrojaron los siguientes resultados:

Tabla 8. Unidades geológicas presentes en San Carlos de Guaroa.

Símbolo	Nombre	Edad	Área (%)
Q-al	Depósitos aluviales y de llanuras aluviales	Cuaternario	48,88
Q-ca	Abanicos aluviales y depósitos coluviales	Cuaternario	26,29
Q-t	Terrazas aluviales	Cuaternario	24,83
TOTAL			100,00

Fuente: (Servicio Geológico Colombiano, 2015)**.**

De la *Tabla 8* se afirma que la unidad geológica con mayor representatividad en el municipio corresponde a los Depósitos aluviales y de llanuras aluviales (Q-al) con una extensión del 48,88 % del área del municipio, seguida de los Abanicos aluviales y depósitos coluviales (26,29 %) y Terrazas aluviales (26,29 %). La unidad identificada con el símbolo Q-al hace referencia a la depositación fluvial que ocurre cuando el gradiente del cuerpo de agua disminuye rápidamente, quedando concentrado en el fondo del lecho el material más pesado que suele superar los 2 mm, dando origen a este tipo de depósitos (INGEOMINAS & Universidad Nacional de Colombia, 2011) y los sedimentos del municipio que se integran en esta unidad provienen de la Cordillera Oriental de los Andes, pues como consecuencia de los procesos morfo dinámicos de esta y la erosión que produjo el levantamiento de sus plegamientos, estos materiales fluyeron hasta ubicarse en los depósitos de los Llanos orientales (Alcaldía Municipal San Carlos de Guaroa, 2015).

Por otra parte, en lo relacionado con la unidad geológica Q-ca de abanicos aluviales, su morfología incluye características propias en términos de litología, pendiente, vegetación, pendiente del canal tributario, procesos depositacionales y clima (Méndez, y otros, 2016) y esta geoforma suele desarrollarse en un ambiente de piedemonte, al frente de los macizos montañosos. Finalmente, la unidad geológica de terrazas aluviales (Q-t) son plataformas recortadas por la incisión lineal de una corriente de agua que corresponden a depósitos originados en etapas antiguas que reflejan las diferentes alturas alcanzadas por esta corriente durante cada uno de estos periodos (Conesa, 1990). Estas unidades están influenciadas por las corrientes de los ríos Guamal, Metica, Acacías y Guayuriba que discurren al interior del municipio.

6.2.1.3 Geomorfología

La geomorfología es la ciencia que estudia las formas del terreno permite una clasificación que explique su génesis y características y su comprensión es posible cuando confluyen procesos dinámicos, litológicos y estructurales en una región determinada (González, Galán, & Cornejo, 1992). Con base en información cartográfica suministrada por (IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP, 2007) sobre los ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia (sobre el atributo de la geomorfología nacional) se identificaron las principales unidades pedogenéticas presentes en San Carlos de Guaroa, las cuales se presentan en la *Tabla 9* y en la *Figura 11***.**

Tabla 9. Unidades geomorfológicas de San Carlos de Guaroa.

Símbolo	Nombre	Área (%)
PA3n	Piedemonte aluvial, < 12 %, Imperfecto a excesivo	57,9
QA1i	Planicie aluvial, < 7 %, pobre a muy pobre	36,12
CA	Cuerpo de agua	5,31
ZU	Zonas urbanas	0,67
TOTAL		100,00

Fuente: (IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP, 2007)

Con base en lo anterior se tiene que en San Carlos de Guaroa la unidad geomorfológica predominante (57,9 %) es aquella que corresponde al símbolo PA3n y que se asocia al paisaje geomorfológico de Piedemonte el cual se extiende al pie de sistemas montañosos, serranías y escarpes de altiplanicies y que para el presente caso tiene inclinaciones menores al 12 % con un drenaje en el cual es agua es removida fácil y rápidamente del suelo, donde en regiones húmedas el agua está disponible para las plantas la mayor parte del periodo de crecimiento y los suelos no presentan una profundidad relacionada con el exceso de humedad (IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP, 2007); en contraste, la unidad denominada QA1i hace referencia a la Planicie aluvial que ha sido formada por la sedimentación de corrientes de agua que descienden de una zona de montaña o escarpe hacia una zona plana y cuenta con pendientes de hasta el 3 % y desniveles de hasta 10 metros como máximo; en el municipio el drenaje de esta unidad geomorfológica se caracteriza porque a diferencia del anterior, el agua es removida en forma tan lenta que el suelo permanece constantemente humedecido lo cual puede surgir debido a la baja conductividad hidráulica de los suelos o a precipitaciones continuas (IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP, 2007).

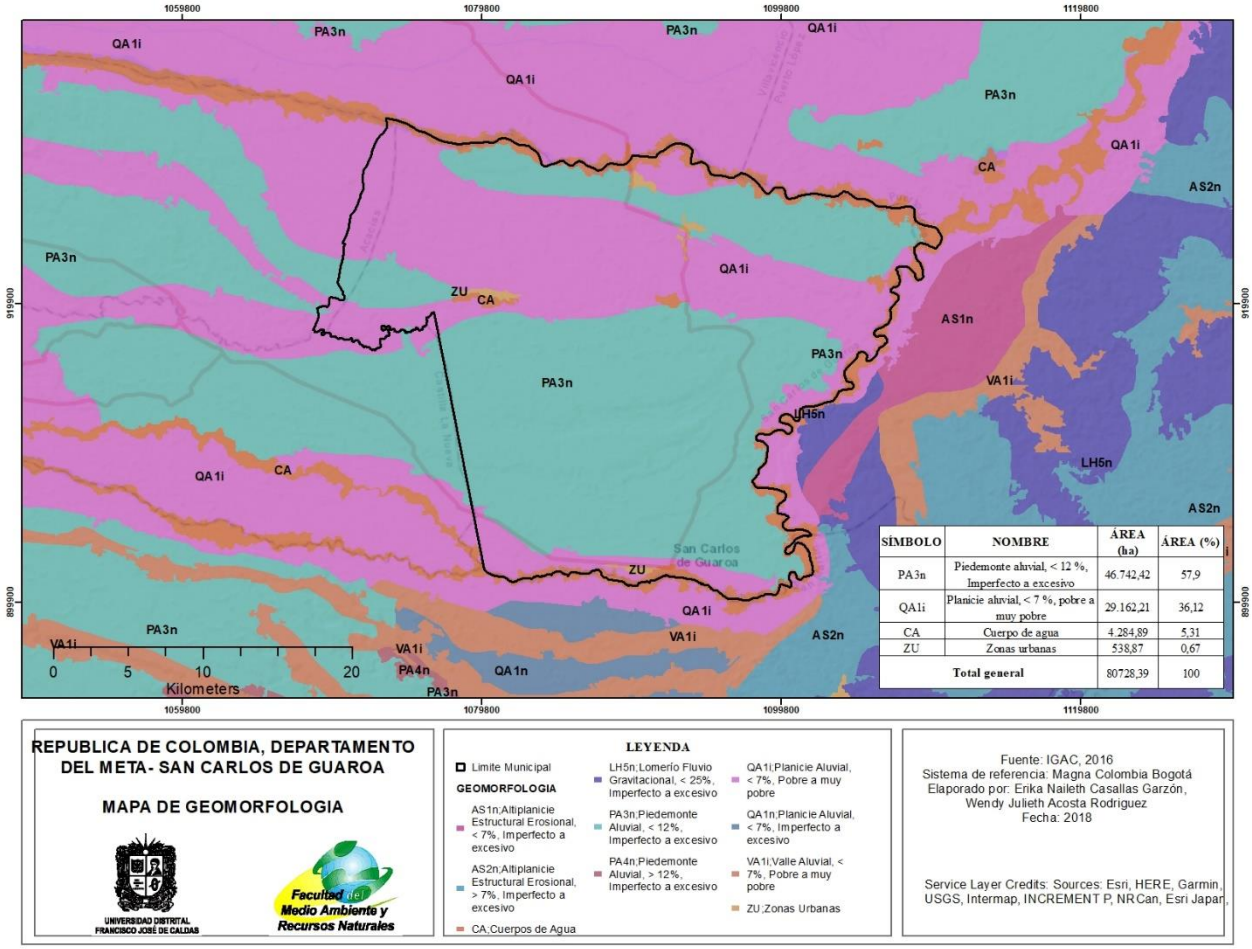


Figura 11. Mapa de geomorfología San Carlos de Guaroa.
Fuente: IGAC, 2016.

6.2.1.4 Suelos

El suelo es el material que se ubica sobre la corteza terrestre y que proviene de la desintegración y/o aceleración fisicoquímica de las rocas y de la materia orgánica producida por las actividades de los seres vivos que sobre ellas se ubican (Villalaz, 2004); este recurso es el producto final de la influencia del tiempo,

combinado con el clima, topografía, organismos (flora, fauna y ser humano) y materiales parentales (rocas y minerales originarios). Como resultado de los procesos pedogénicos que lo producen existen diferencias entre el material parental, textura, estructura, consistencia, color y propiedades químicas, biológicas y físicas (FAO, 2018). Por lo anterior, este recurso natural se ha considerado irrecuperable y de gran valor para la producción de alimentos, teniendo en cuenta que su recuperación es tan dificultosa que después de 2.000 años tan sólo se regeneran 10 cm de suelo fértil gracias a la descomposición de rocas por efecto del sol, la lluvia, el viento, los animales y las plantas (FAO, 2015); así, mientras el suelo se encuentre sin cobertura vegetal se verá más expuesto a la erosión ocasionada por el viento y la lluvia, y son actividades como la tala de bosques, la agricultura intensiva y la expansión urbana las que representan la principal amenaza en cuanto a la degradación de los mismos.

Basados en la cartografía del estudio de suelos (IGAC, 2016) fue posible determinar los tipos de suelo en los predios objeto de estudio, los cuales se muestran en la *Figura 12* y se describen a continuación en la *Tabla 10*. Así mismo, teniendo en cuenta las unidades cartográficas y los componentes taxonómicos del mismo estudio, fue posible determinar que los suelos de los predios en estudio se encuentran todos dentro de los órdenes Entisol, Inceptisol, Andisol, Ultisol y Oxisol.

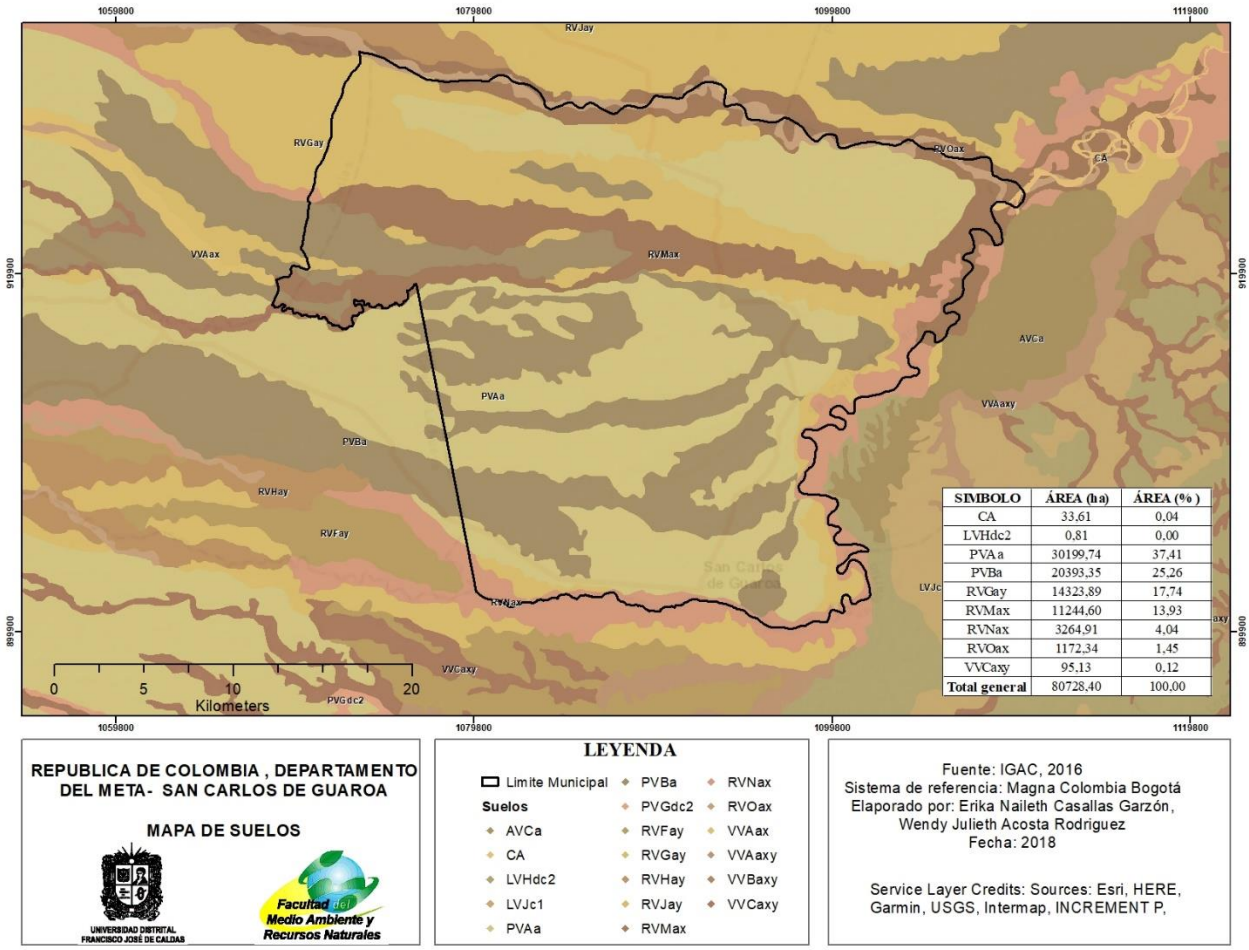


Figura 12. Mapa de suelos San Carlos de Guaroa.
Fuente: (IGAC, 2016).

Tabla 10. Características de los suelos de San Carlos de Guaroa.

Símbolo	Paisaje	Tipo relieve	Litología/material transportado	Principales características de los suelos	Principales características del tipo de relieve	Área (%)
PVAa	Piedemonte mixto	Terrazas	Sedimentos finos aluviales que recubren depósitos de cantos y gravas medianamente alterados	Profundos, texturas moderadamente finas a finas, bien drenados, muy fuerte a extremadamente ácidos, fertilidad baja; toxicidad por aluminio. Fragmentos de rocas localizadas en superficie	Relieve plano a ligeramente ondulado, pendientes 0-7%. Se presentan varios niveles de origen tectónico. Afectados por escurrimiento difuso generalizado	37,41
PVBa	Piedemonte mixto	Terrazas	Sedimentos mixtos aluviales que recubren depósitos de cantos y gravas poco alterados	Profundos a superficiales, texturas medias a finas, bien a pobremente drenados, fuerte a muy fuertemente ácidos, fertilidad baja, toxicidad por aluminio nivel freático fluctuante	Relieve plano, pendientes 0-3%. Microrelieve plano-cóncavo en el que se localizan zurales. Existen varios niveles de origen tectónico. Afectados por escurrimiento difuso generalizado	25,26
RVGay	Planicie aluvial	Terraza agradacional Nivel 3	Depósitos mixtos aluviales	Profundos a moderadamente profundos, texturas medias a finas, bien a imperfectamente drenados, muy fuerte a fuertemente ácidos, fertilidad baja a moderada, ligera toxicidad por aluminio; susceptibles a encharcamientos	Relieve plano a ligeramente ondulado, pendientes 0-7%. Presencia de zurales en las zonas con Microrelieve plano-cóncavo. Afectados por encharcamientos	17,74
RVMax	Planicie aluvial	Plano de inundación	Depósitos mixtos aluviales	Profundos a superficiales, texturas variadas de finas a moderadamente gruesas, moderada a pobremente drenados, mediana a muy fuertemente ácidos, fertilidad moderada a baja, susceptibles a inundaciones	Relieve plano a ligeramente plano, pendientes 0-3%, microrrelieve ondulado. Inundables	13,93
RVNax	Planicie aluvial	Plano de inundación	Depósitos mixtos aluviales	Muy superficiales a profundos, texturas variadas, bien a imperfectamente drenados, fertilidad alta a baja, fragmentos de roca localizados en superficies	Relieve plano a ligeramente plano, pendientes 0-3%, Microrelieve cóncavo-convexo, surcado por cauces abandonados y lagunas. Inundables	4,04

Símbolo	Paisaje	Tipo relieve	Litología/material transportado	Principales características de los suelos	Principales características del tipo de relieve	Área (%)
RVOax	Planicie aluvial	Plano de inundación	Cantos, gravas y arenas aluviales	En su mayoría depósitos inestables, irregulares (playones e islotes). En otros sectores suelos superficiales de texturas moderadamente gruesas, bien a moderadamente drenados, fuertemente ácidos, fertilidad baja; susceptibles a inundaciones	Relieve plano a ligeramente plano, pendientes 0-3%. Planicies de ríos trenzados, inundables	1,45
VVCaxy	Valle	Vallecitos coluvio - aluviales	Depósitos mixtos aluviales y coluviales	Superficiales a moderadamente profundos, texturas moderadamente gruesas a moderadamente finas, imperfecta a pobremente drenados, muy fuerte a extremadamente ácidos, fertilidad baja; ligera toxicidad por aluminio; susceptibles a inundaciones y encharcamientos	Relieve plano a ligeramente plano, pendientes 0-3%. Microrrelieve plano-cóncavo con ligera inclinación hacia los taludes superiores. Afectados por inundaciones y encharcamientos	0,12
LVHdc2	Lomerío Fluvio gravitacional	Lomas	Arcillolitas	Moderadamente profundos a superficiales, texturas finas a moderadamente gruesas, bien a moderadamente drenados, fuerte a extremadamente ácidos, fertilidad baja; toxicidad por aluminio; muy susceptibles a la erosión	Relieve ondulado y quebrado, pendientes 7-25%, laderas medias y cortas, rectilíneas y ligeramente convexas. Cimas redondeadas y planas. Afectados por erosión laminar ligera (retrocedente), patas de vaca, terracetas y escurrimiento difuso	0,00101
TOTAL						99,96

Nota: El restante del área del municipio (0,04 %) corresponde a cuerpos de agua, por lo que no pertenece a ninguna de las unidades de suelo presentadas en la tabla.

Fuente: (IGAC, 2004).

6.2.1.5 Pendientes

Las pendientes de un terreno se encuentran definidas como el ángulo formado por el plano horizontal con el plano tangente a la superficie del terreno en ese punto específico, es decir los valores de pendiente en grados hacen referencia a la inclinación o desnivel del suelo. Para la elaboración de las pendientes se toma como recurso principal un modelo digital de elevación (DEM) ALOS PALSAR, descargado de la plataforma del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS. Mediante un procesamiento digital del modelo el software arroja los resultados de las pendientes en grados las cuales son reclasificadas en 5 tipos de pendientes de acuerdo a la clasificación realizada por Derek (1972) y Marsh (1979), como se muestra en la *Tabla 11* y *Figura 13*. Las pendientes del terreno pueden clasificarse como suaves, las cuales presentan una inclinación de 0 a 5 grados, hasta pendiente muy fuerte con valores de inclinación de 25 a 90°.

Tabla 11. Pendientes San Carlos de Guaroa

Tipo de pendiente	Inclinación (°)	Área (ha)	Área (%)
Pendiente muy fuerte	25 - 90	0,68	0,00
Pendiente bastante fuerte	15- 25	32,01	0,04
Pendiente fuerte	10- 15	311,39	0,39
Pendiente moderada	5-10	7.591,55	9,40
Pendiente suave	0-5	72.792,76	90,17
TOTAL		80.728,39	100,00

Fuente: Autoras, 2019.

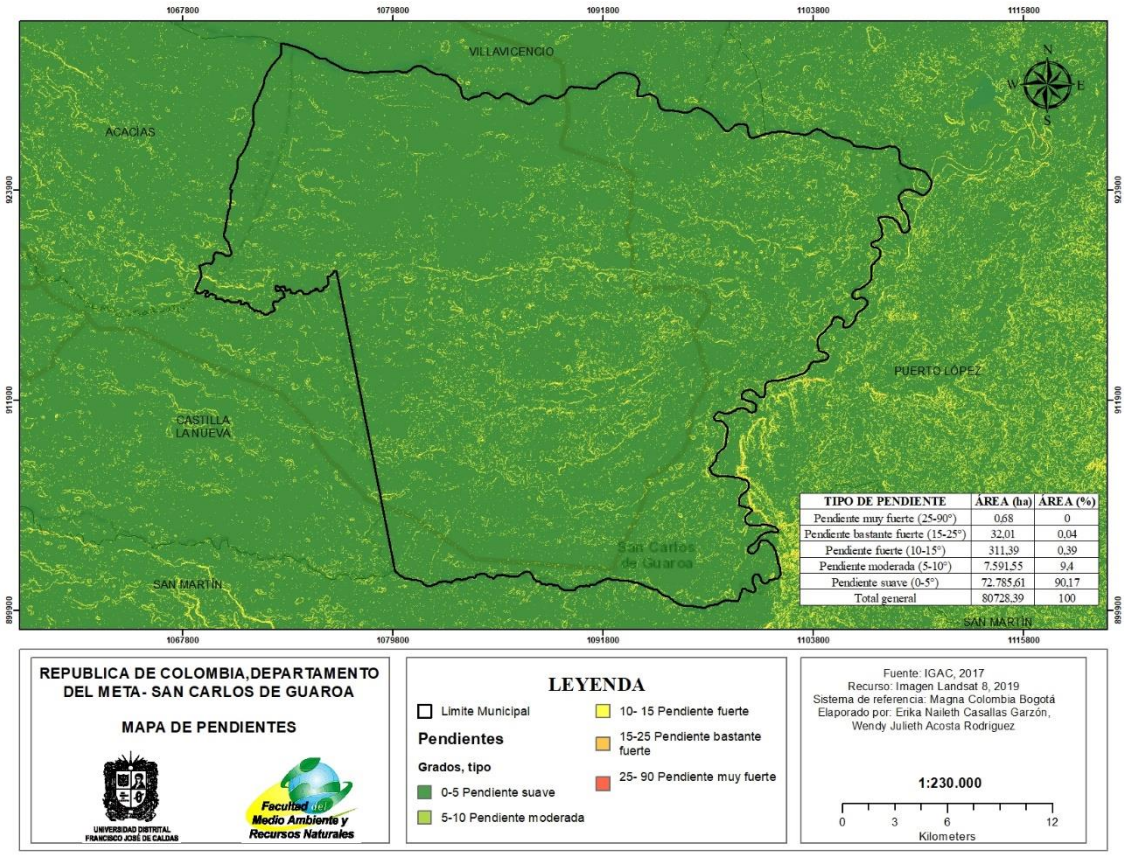


Figura 13. Mapa de Pendientes San Carlos de Guaroa.
Fuente: Autoras, 2019.

6.2.1.6 Grandes Biomas y Biomas continentales

A nivel nacional el estudio desarrollado por (IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP, 2007) identificó tres (3) grandes biomas y treinta y dos (32) biomas; para el municipio de San Carlos de Guaroa se determinó la presencia de un gran bioma y dos biomas continentales, tal como se indica en la *Tabla 12*.

Tabla 12. Grandes biomas y biomas continentales San Carlos de Guaroa.

Gran bioma	Bioma	Área (%)
Bosque Húmedo Tropical	Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical	27,35
	Zonobioma Húmedo Tropical	72,65
TOTAL		100,00

Fuente: (IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP, 2007)**.**

El Zonobioma Húmedo Tropical (Amazonía-Orinoquía) tiene una significancia mayor al interior del municipio, abarcando el 72,65 % de su superficie y se localiza especialmente sobre las unidades geomorfológicas de lomerío y planicies, cubierto por bosques naturales, pastos y herbazales, mientras que el Pedobioma del Zonobioma Húmedo Tropical abarca el 27,35 % del territorio está dividido en helobioma e hidrobioma cada uno de los cuales adquiere características específicas según la influencia que hayan adquirido en la zona.

6.2.1.7 Hidrografía

San Carlos de Guaroa es un municipio con una red hidrográfica importante conformada por cuerpos de agua que forman cuencas de interés local y regional, cuya importancia consiste en la utilización del recurso hídrico para la pesca artesanal, sistemas de riego, consumo doméstico e industrial (Alcaldía Municipal San Carlos de Guaroa, 2015). Con base en información cartográfica sobre los cuerpos de agua que se encuentran dentro del municipio se encontró que el municipio hace parte de la Cuenca Hidrográfica Alto Meta y de las subcuencas Río Metica (Guamal-Humadea) y Río Guayuriba, tal como se presenta en la *Tabla 13.*

Tabla 13. Cuencas y subcuencas hidrográficas San Carlos de Guaroa.

Cuenca hidrográfica	Subcuencas	Área (%)
Alto Meta	Río Metica (Guamal-Humadea)	92,28
	Río Guayuriba	7,72
TOTAL		100,00

Fuente: (IDEAM, 2014)**.**

El río Meta tiene una longitud de 1.250 km y discurre en medio de las regiones alto, medio y bajo Meta, Casanare y Manacacías e incluye ecosistemas de páramo, bosque húmedo andino, sabanas inundables y bosque de galería inundable (University of Marylando, IAVH, Fundación Omacha & WWF, 2016); durante la primera parte del recorrido se conoce como Río Metica conformado por el Caño Camoa y el Río Guamal. Por otra parte, la cuenca del río Guayuriba integra la cuenca del Alto Meta en la subregión del piedemonte andino, conformada por las subcuencas del río Blanco que proviene del Parque Nacional Natural Sumapaz y el río Negro procedente del Parque Nacional Natural Chingaza y esta área enmarcada en la Orinoquía colombiana es una de las principales fuentes hídricas debido a su potencial de provisión de servicios ecosistémicos, producción y regulación de recursos naturales, abastecimiento de materias primas, refugio de biodiversidad y belleza escénica (Torres, y otros, 2015).

6.2.1.8 Aguas Subterráneas

Las aguas subterráneas, también llamadas freáticas, son las aguas contenidas en rocas permeables y en sedimentos no consolidados (Secretaría de la Convención RAMSAR, 2010) por debajo de la superficie continental. En Colombia, estas constituyen un recurso que día a día adquiere mayor importancia, pues son reconocidas por ser fuente alterna de aprovechamiento en cuencas con acceso limitado de aguas superficiales, así como por su influencia en obras de infraestructura. Generalmente forman grandes embalses subterráneos, y pese a que tienen mayor grado de protección frente a fuentes potenciales de contaminación, el deterioro de su calidad y estado es más peligroso en comparación con las aguas superficiales, pues su detección es más difícil y tardía.

Por consiguiente, su identificación en el área de estudio se constituye un elemento de gran importancia para el análisis ambiental del municipio; con base en el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2014) en el país se han identificado 16 Provincias Hidrogeológicas (con un área potencial de acuíferos de 74,5% del territorio colombiano) distribuidas en cinco áreas hidrográficas, en las cuales se han caracterizado 61 Sistemas acuíferos de carácter local y regional, y 5 transfronterizos. Vale la pena mencionar que un Sistema Acuífero corresponde a "un espacio limitado en superficie y profundidad en el que existen uno o varios acuíferos con porosidad primaria o secundaria, relacionados o no entre sí, pero que constituyen una unidad práctica para la investigación o explotación.

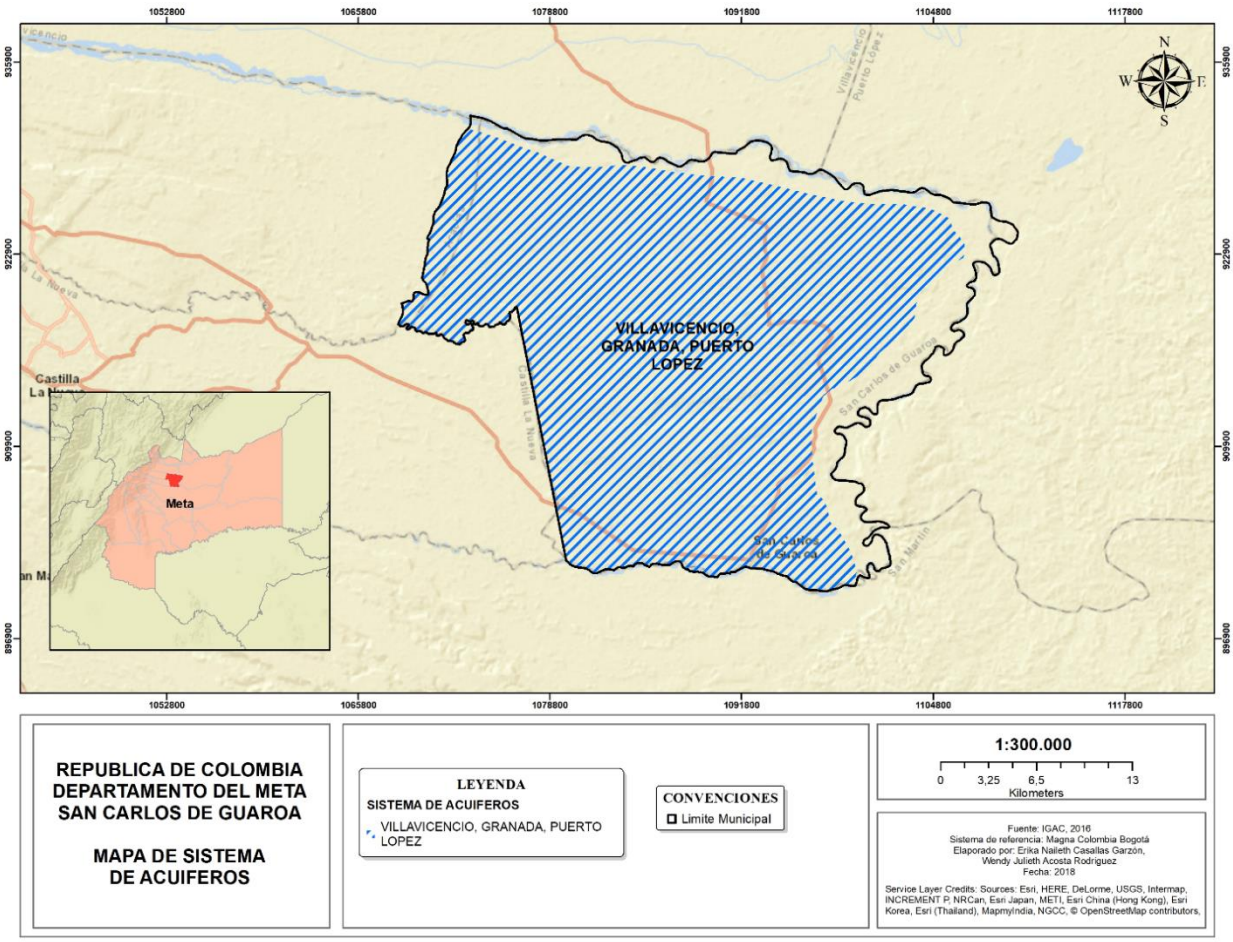


Figura 14. Sistema acuífero en San Carlos de Guaroa.
Fuente: (IDEAM, 2014).

Con base en la *Figura 14* es posible afirmar que en San Carlos de Guaroa se localiza el Sistema Acuífero identificado con el código SAP 3.1 1 y que corresponde al Sistema Villavicencio, Granada, Puerto López; este hace parte del Área Hidrográfica del Orinoco, Provincia hidrogeológica PP3 Llanos Orientales, abarca una superficie de 1.375.300 ha y lo conforman acuíferos libres a confinados. Pese a lo interior, la información sobre acuíferos en Colombia es limitada con tendencia a la inexistencia, pues el 73% de los Sistemas identificados no cuentan con un nivel óptimo de conocimiento hidrogeológico, siendo las áreas hidrográficas del Pacífico, Orinoco y Amazonas las que menor información presentan. Por consiguiente, no es posible determinar los puntos de recarga o de presencia potencial de acuíferos debido a la ausencia de registros en zonas del país donde el uso de estos sistemas para abastecimiento individual es notable.

En síntesis, con un clima cálido húmedo, una temperatura media superior a 24 °C y una precipitación de 2.000 – 3.000 mm/año, el municipio cuenta con geoformas asociadas a los depósitos aluviales y de llanuras aluviales, abanicos aluviales y depósitos coluviales y terrazas aluviales del Cuaternario que han sido influenciadas por las corrientes de los cuerpos de agua que discurren en el municipio y por la presencia del Piedemonte aluvial y de Planicie aluvial.

A nivel edáfico, se identificaron ocho (8) unidades de suelo, detalladas mediante un símbolo compuesto por letras mayúsculas, minúsculas y números; las letras mayúsculas representan las geoformas, el clima y la clase de unidad cartográfica del suelo, las letras minúsculas y los números hacen referencia a las fases predominantes y representan las principales restricciones en cuanto a su uso. En este sentido, a una escala 1:100.000 la unidad de suelos de mayor extensión en San Carlos de Guaroa está identificada con el símbolo PVAa (paisaje de piedemonte, clima cálido húmedo, pendientes de 0 – 3 %); a esta le siguen las unidades PVBa (paisaje de piedemonte, clima cálido húmedo, pendientes de 0 – 3 %), RVGay (paisaje de planicie aluvial, clima cálido húmedo, pendientes de 0 – 3 %, presencia de escarceos), RVMax (paisaje de planicie aluvial, clima cálido húmedo, pendientes de 0 – 3 %, pedregosidad), RVNax (paisaje de planicie aluvial, clima cálido húmedo, pendientes de 0 – 3 %, pedregosidad), RVOax (paisaje de planicie aluvial, clima cálido húmedo, pendientes de 0 – 3 %, pedregosidad), VVCaxy (paisaje de Valle, clima cálido húmedo, pendientes de 0 – 3 %, pedregosidad y presencia de escarceos) y LVHdc2 (paisaje de lomerío, clima cálido húmedo, pendiente de 12 – 25 %, erosión moderada).

En términos de pendientes y de acuerdo a la información de los suelos, se identificó que la mayor parte del municipio presenta una pendiente suave, caracterizada por tener inclinaciones entre 0 y 5°. Hidrográficamente el municipio hace parte de la cuenca hidrográfica Alto Meta, y pertenece a las subcuencas Río Metica (Guamal-Humadea) y Río Guayuriba, presentando en el subsuelo un sistema acuífero representado con el código SAP 3.1.1. que hace parte del Área Hidrográfica del Orinoco.

6.2.2 Capacidad de uso de la tierra

Tomando como base el mapa de capacidad de uso de las tierras de Colombia a escala 1:100.000 (IGAC, 2011) se identificaron para el área de estudio las clases de capacidad de los suelos presentes a fin de determinar las principales limitaciones y prácticas de manejo. Esta clasificación está basada en la interpretación de las unidades cartográficas que integran el mapa de suelos de Colombia, buscando así establecer las restricciones y potencialidades biofísicas de las tierras (IGAC, 2016). Estos resultados se presentan en la *Tabla 14* así como en la *Figura 15*.

Tabla 14. Capacidad de uso de la tierra en el municipio San Carlos de Guaroa.

Unidad de suelo	Subclase	Características	Área (ha)	Área (%)
RVMax	*3hs* Clase agrológica 3. Limitada por la humedad excesiva sobre el suelo o dentro de él (h) y por las restricciones físicas o químicas del suelo que impiden el normal desarrollo de las raíces de los cultivos o que influyen sobre su labranza (s).	- La unidad tiene aptitud para agricultura con cultivos anuales y semiperennes como arroz, sorgo, maíz, soya, plátano y pastos introducidos para la ganadería semi intensiva. - Las limitaciones más severas se deben a la presencia de un nivel freático alto, al riesgo de encharcamientos e inundaciones, al bajo contenido de nutrientes y a la profundidad efectiva superficial. - Estos suelos permiten el uso de maquinaria agrícola y se deben utilizar algunas prácticas y tratamientos especiales como la construcción de canales de drenaje para mantener el nivel freático bajo, aplicación periódica de fertilizantes, rotación de cultivos y potreros, control eficiente de malezas, plagas y enfermedades y densificación de la vegetación ribereña.	11.278,21	13,93
PVAa	*4s* Clase agrológica 4. Limitada por las restricciones físicas o químicas del suelo que impiden el normal desarrollo de las raíces de los cultivos o que influyen sobre su labranza (s).	- La unidad es apta para cultivos anuales y perennes como fríjol, yuca, caña, cacao, frutales y pastos introducidos para ganadería semi intensiva. - Las principales limitantes de uso de estas tierras los constituyen la pobreza de nutrientes, los contenidos altos de aluminio, la profundidad efectiva superficial y la presencia de capas pedregosas que impiden su plena mecanización. - Requieren aplicación de enmiendas, remoción de piedra en algunos sectores, fertilización técnica y establecimiento de pastos de corte y pastoreo.	30.199,74	37,41
PVBa RVGay RVNax	*4sh* Clase agrológica 4. Limitada por las restricciones físicas o químicas del suelo que impiden el normal desarrollo de las raíces de los cultivos o que influyen sobre su labranza (s) y por la humedad excesiva sobre el suelo o dentro de él (h).	- Estas tierras son aptas para cultivos anuales y perennes (caña, sorgo, arroz, maíz, palma africana, frutales) y pastos introducidos para ganadería semi intensiva. - Las mayores limitantes para el uso de estas tierras son la fertilidad natural muy baja, los contenidos altos de aluminio de cambio, la susceptibilidad a encharcamientos de corta duración y la presencia de zurales en algunos sectores. - Algunas prácticas y tratamientos especiales requeridas consisten en aplicaciones periódicas de enmiendas, fertilización técnica, uso de variedades mejoradas y adaptadas al medio, rotación de potreros y mejoramiento de las praderas.	37.982,16	47,05
LVHdc2	*7se* Clase agrológica 7. Limitada por las restricciones físicas o	- La unidad tiene aptitud para actividades silvopastoriles.	0,81	0,00101

Unidad de suelo	Subclase	Características	Área (ha)	Área (%)
	químicas del suelo que impiden el normal desarrollo de las raíces de los cultivos o que influyen sobre su labranza (s) y por la erosión presente o pasada (e).	- Se debe conservar la vegetación natural para la protección de microcuencas y la fauna regional. - En estos suelos se deben reforestar los sectores más degradados, permitir el crecimiento de la vegetación natural y conservar la existente, introducir pastos mejorados, rotar los potreros, evitar talas y quemas y proteger los nacederos de los caños.		
RVNax	*8*	- Estas tierras no tienen aptitud agropecuaria y la cobertura dominante es con arbustos y herbazales naturales poco densos. - Sus limitantes de uso y manejo son extremadamente severas y están representados por vientos fuertes, pendientes muy fuertes, inundaciones irregulares de larga duración, ausencia de suelo, muy poca profundidad efectiva, afloramientos rocosos, pedregosidad abundante en superficie y muy baja fertilidad. - Su utilización debe estar orientada a la conservación y protección de los recursos naturales. - Se recomienda controlar el avance colonizador, proscribir la tala de bosque y delimitar las áreas de las reservas naturales.	1.172,34	1,45
VVCaxy	*8h* Clase agrológica 8. Limitada por la humedad excesiva sobre el suelo o dentro de él (h).		95,13	0,12
TOTAL			80.728,39	100,00

Fuente: (IGAC, 2004)

Nota: El restante del área del municipio (0,04 %) corresponde a cuerpos de agua, por lo que no pertenece a ninguna de las unidades de capacidad de uso presentadas en la tabla.

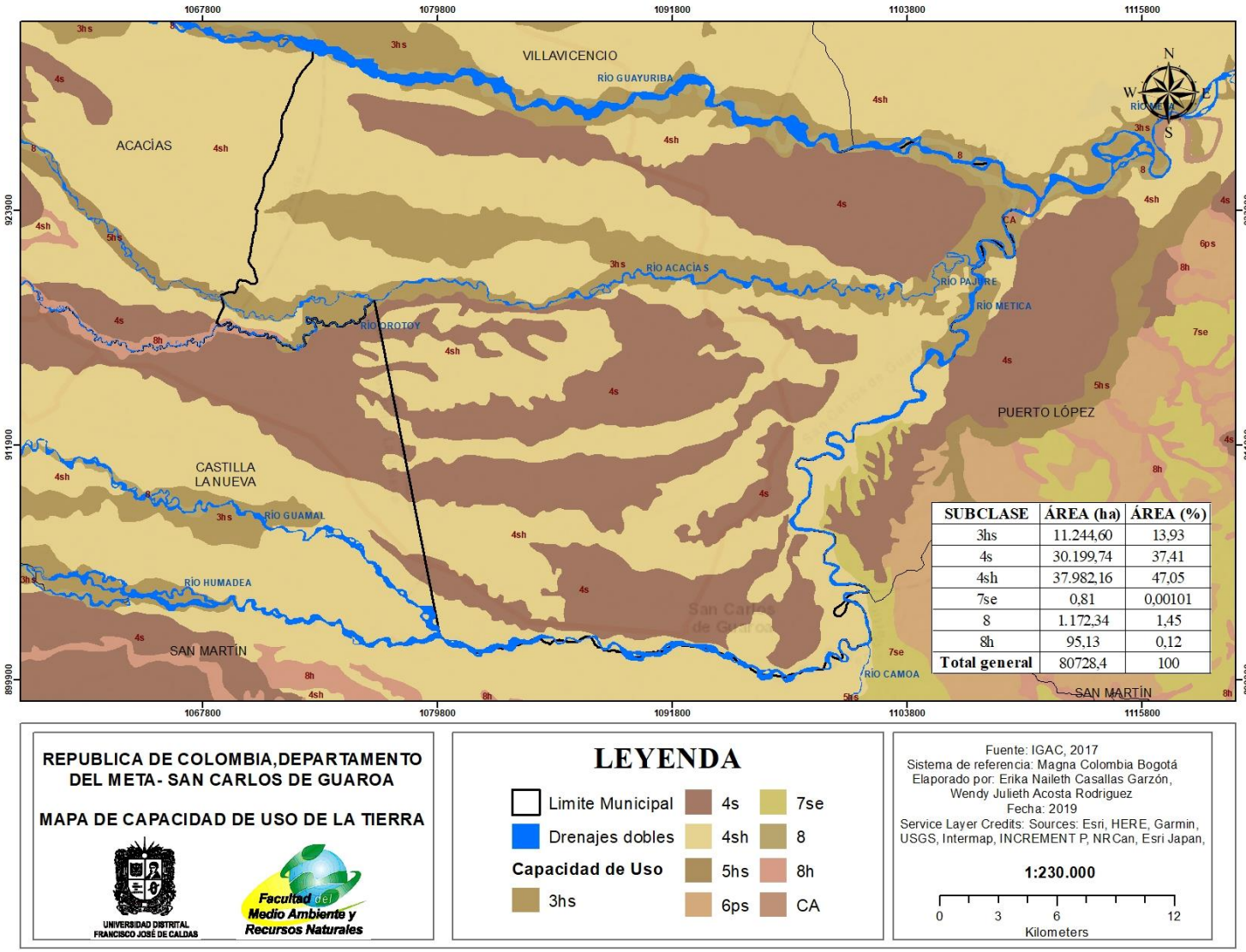


Figura 15. Mapa de capacidad de uso del suelo, municipio San Carlos de Guaroa.
Fuente: Autoras, 2019.

De esta manera, en el área de estudio el 47,05 % de la superficie se encuentra dentro de la clase subclase 4sh, correspondiente a tierras arables con restricciones severas que condicionan su uso a cultivos específicos y a ganadería o agroforestería, por lo que exigen prácticas cuidadosas de manejo; no obstante, los resultados del levantamiento de suelos del Meta afirman que esta unidad es apta para cultivos anuales y permanentes, dentro de los cuales se encuentra la palma de aceite, aunque requieren tratamientos especiales como la aplicación de enmiendas y fertilizantes, la rotación de potreros, el mejoramiento de praderas y el uso de variedades mejoradas (IGAC, 2004).

El 37,41 % del municipio hace parte de la subclase 4s cuyas principales restricciones son las propiedades físicas y químicas del suelo, aunque no se menciona para el departamento del Meta su aptitud para cultivos como la palma de aceite debido a la pobreza de nutrientes, la presencia de pedregosidad y la profundidad efectiva superficial, por lo que las áreas sembradas con este cultivo y localizadas en esta subclase pueden estar presentando conflictos respecto a la capacidad de uso de estas tierras; así mismo, el 13,93 % de San Carlos de Guaroa forma parte de tierras con clase agrológica 3, pero con limitaciones respecto a la humedad excesiva y las propiedades fisicoquímicas del suelo, y aunque las restricciones son moderadas pueden ser destinadas a usos agropecuarios con prácticas de manejo moderadas o intensivas que incluyan la incorporación de residuos orgánicos al suelo, el control de la humedad mediante sistemas de drenaje y la densificación de la vegetación ribereña (IGAC, 2004) (IGAC, 2016). Finalmente, el 1,57 % del territorio cuenta con subclases 7se y 8-8h cuya aptitud está lejos de ser agropecuaria, encaminada hacia el desarrollo de actividades silvopastoriles, conservación y protección de recursos naturales debido a la gran cantidad de limitaciones en términos de erosión, inundaciones, baja fertilidad y pedregosidad (IGAC, 2004).

6.2.3 Vocación de uso de la tierra

La clasificación de las tierras por su capacidad de uso considera las principales características de los suelos en cuanto a limitaciones, capacidad de producción, requerimientos de manejo y riesgos, lo cual constituye una herramienta de gran utilidad para el desarrollo de una región determinada en la que se conjugan todos los aspectos que determinan el uso más indicada para una unidad o un conjunto de unidades edafológicas que comparten rasgos y características en común y que responden de manera similar a determinados tipos de manejo. Con base en lo anterior se determinaron, de acuerdo al mapa de vocación de uso de las tierras de Colombia a escala 1:100.000 (IGAC, 2012), las categorías de vocación de los suelos presentes en el área de evaluación. Estos resultados se presentan en la *Tabla 15* y en la *Figura 16.*

Tabla 15. Vocación de uso de la tierra en el municipio San Carlos de Guaroa.

Unidad	Vocación	Uso principal	Área (ha)	Área (%)
CA	Cuerpo de agua	Cuerpo de agua	33,61	0,04
CPIc	Agrícola	Cultivos permanentes intensivos de clima cálido	30.199,74	37,41
CRH-1	Conservación de Suelos	Conservación de Recursos Hídricos	1.267,46	1,57
CTSc	Agrícola	Cultivos transitorios semi intensivos de clima cálido	49.226,77	60,98
FPDc	Forestal	Forestal de producción de clima cálido	0,81	0,0010
TOTAL			80.728,39	100,00

Fuente: Autoras, 2019.

La vocación de uso del suelo constituyó para este proyecto una herramienta que permitiera identificar la existencia de conflictos en la utilización de las tierras del municipio de San Carlos de Guaroa de acuerdo a la caracterización de coberturas para el año 2019. En este sentido, para el área de evaluación y tal como se detalla en la *Tabla 15*, la mayor parte del municipio (60,98 % equivalente a aproximadamente 49.226,77 ha) tiene vocación agrícola con uso principal de cultivos transitorios semi intensivos de clima cálido. A esta categoría le sigue la vocación agrícola con un uso principal de cultivos permanentes intensivos de clima cálido (37,41 % equivalente a aproximadamente 30.199,74 ha): el área restante se identificó con vocación forestal (0,0010 %), de conservación de suelos (1,57 %) y de cuerpos de agua (0,04 %), tal como se muestra en la *Figura 16.*

Los cultivos transitorios semi intensivos se caracterizan por presentar un ciclo de vida inferior a un año y por requerir de moderada a alta inversión de capital, adecuada tecnología y mano de obra calificada, y suelen desarrollarse en áreas en las cuales las condiciones agronómicas de las tierras no soportan una explotación intensiva o donde el suelo presenta algún tipo de degradación, por lo que su establecimiento se sugiere sea en áreas con clima bimodal o monomodal, con pendiente menor al 12 %, donde no exista erosión y la humedad sea buena a imperfecta, las inundaciones ocasionales o menores y una textura del suelo moderadamente gruesa a moderadamente fina (IGAC, 2016). En este sentido, las áreas del municipio que se encuentren dentro de esta categoría de vocación de uso y que presenten cultivos de palma de aceite estarían en conflicto de uso debido a que este no es equivalente con las características propias de un cultivo transitorio, ya que la palma africana es un cultivo permanente con un ciclo de vida mayor a 25 años; no obstante, los indicadores e índices desarrollados por el IGAC para definir la vocación el suelo coinciden en su mayoría con las propiedades de las unidades de suelo que presentan esta vocación **(***Tabla 10*) en términos de pendiente, humedad y tipo de textura, por lo que la determinación del conflicto en estas unidades estaría encaminado a identificar mediante un análisis detallado que permita conocer los niveles de fertilidad, materia orgánica, profundidad efectiva radicular, el porcentaje de saturación de acidez intercambiable y conductividad eléctrica, que constituyen otros indicadores de relevancia en la determinación de esta característica de los suelos y su vocación.

De otro modo, es válido afirmar que el 37,41 % del municipio tiene vocación agrícola (cultivos permanentes intensivos) por lo que si en estas áreas se encuentran actualmente cultivos de palma de aceite, estarían siendo compatibles con sus características propias referentes a los ciclos de vida superiores a un año, alta inversión de capital, tecnología adecuada y mano de obra calificada (IGAC, 2016). Por último, en las áreas con vocación forestal, de conservación de suelos y de presencia de cuerpos de agua, el desarrollo de la palma de aceite no es compatible de cuerdo al uso principal de los mismos.

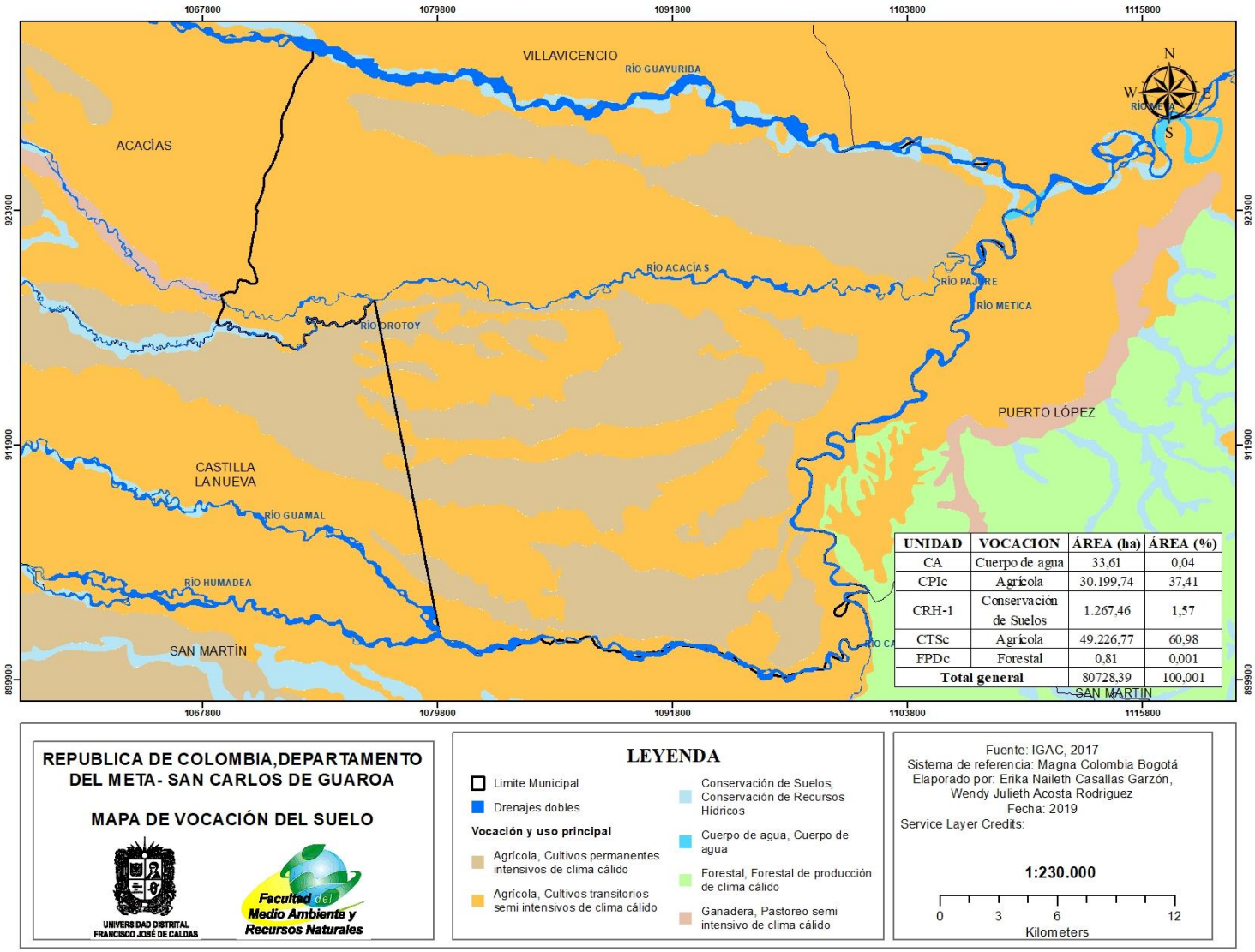


Figura 16. Mapa de vocación de uso del suelo, Municipio San Carlos de Guaroa.
Fuente: Autoras, 2019.

6.2.4 Frontera agrícola de Colombia

La identificación de la frontera agrícola nacional en el municipio de San Carlos de Guaroa tuvo como base la cartografía elaborada por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural a escala 1:100.000. La identificación de la frontera agrícola nacional se basó en el cruce de información oficial de los sectores ambientales y agropecuarios mediante la identificación de áreas en actividad agropecuaria y áreas de exclusión legal ambiental y de patrimonio arqueológico para actividades agropecuarias. Como resultado se tienen a nivel nacional las categorías de frontera agrícola nacional, exclusiones legales y bosques naturales y áreas no agropecuarias. Para el municipio de San Carlos de Guaroa, los resultados de este concepto se presentan en la *Tabla 16* y en la *Figura 17*.

Tabla 16. Frontera agrícola nacional para el municipio San Carlos de Guaroa.

Frontera agrícola Colombia	Área (ha)	Área (%)
Bosques naturales o áreas no agropecuarias	8.414,16	10,31
Frontera agrícola nacional	72.314,23	89,69
TOTAL	80.728,39	100,00

Fuente: (MADR & UPRA, 2018).

De este modo, se identificaron como áreas fuera de la frontera a los bosques naturales, que representan cerca del 10,31 %, mientras que como áreas dentro de la frontera agraria se encuentra la mayor parte del municipio lo que equivale a aproximadamente 73.314,23 ha (89,69 % de su superficie). Bajo estos resultados, es relevante mencionar que dado el nivel de detalle del mapa nacional, tanto el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural como la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria, entidades gestoras de dicha cartografía, afirman que a través de su utilización no es posible resolver conflictos de uso con otros sectores ni tampoco debe constituir un elemento para la toma de decisiones a nivel detallado (MADR & UPRA, 2018) por lo que con estos resultados no estamos en capacidad de identificar áreas (relacionadas con el cultivo de palma de aceite) dentro del municipio que se encuentren en conflicto de utilización en relación con la frontera agrícola del país.

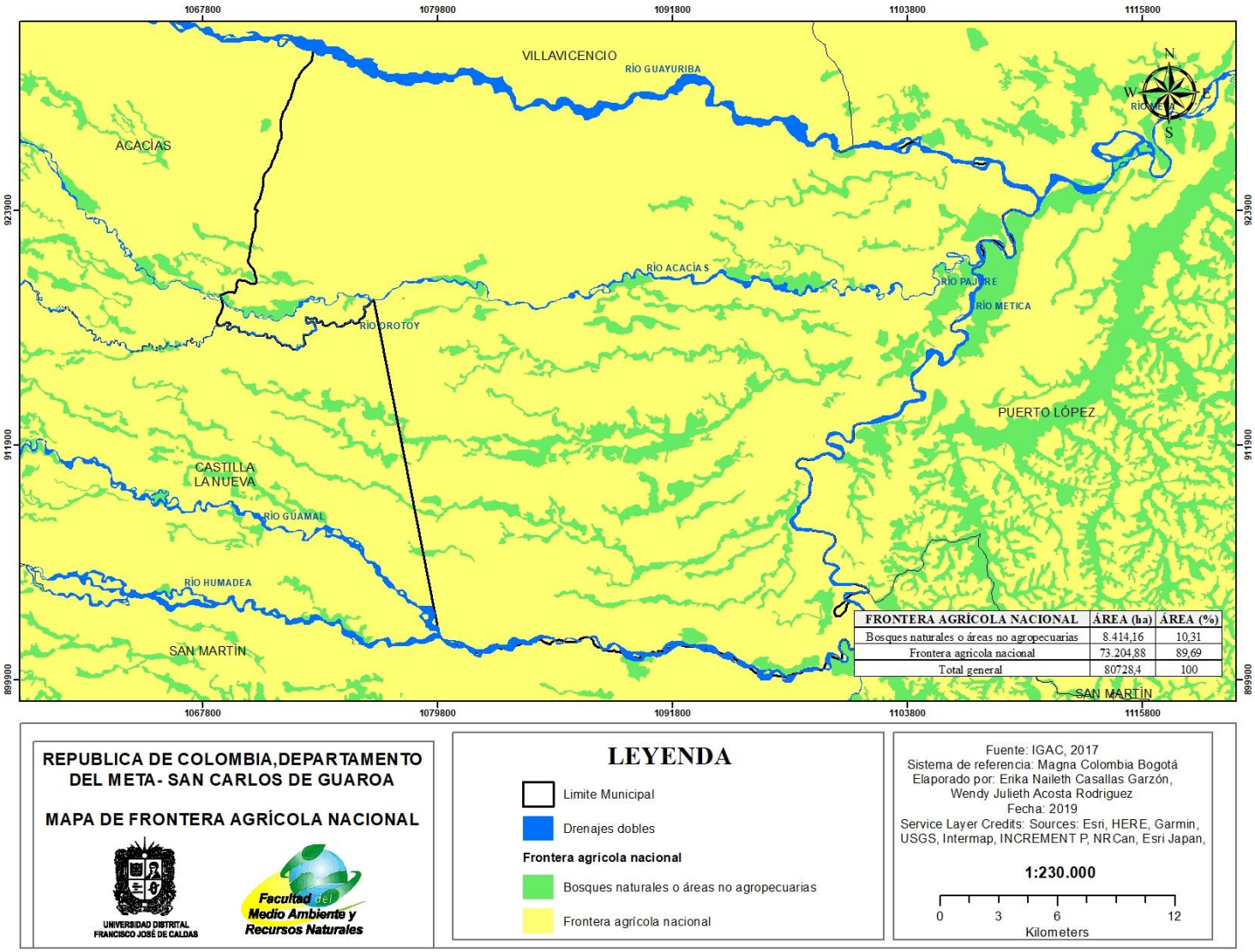


Figura 17. Mapa de Frontera agrícola nacional, Municipio San Carlos de Guaroa.
Fuente: Autoras, 2019.

6.2.5 Identificación de conflictos de uso del suelo

Los conflictos de uso se generan a partir de la presencia de una discrepancia entre el uso actual de la tierra generado por actividades antrópicas y el uso que debería tener de acuerdo a ciertas potencialidades y restricciones ambientales (IGAG, 2012). De acuerdo con el estudio sobre los conflictos de uso del territorio colombiano se elaboró la cartografía correspondiente y se identificaron las clases de conflicto presentes en el municipio de San Carlos de Guaroa; estos resultados se presentan en la *Figura 19* y en la *Tabla 17*. Adicionalmente, esta información se comparó con la información de coberturas de la tierra en el municipio obtenidas del mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos a escala 1:100.000 (IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP, 2007), y la cual se presenta en la *Tabla 18* y *Figura 20.*

Tabla 17. Conflictos de uso del suelo, municipio San Carlos de Guaroa.

Conflicto	Área (ha)	Área (%)
Cuerpos de agua	1.823,16	2,26
Sobreutilización	1.264,03	1,57
Subutilización	42.266,98	52,36
Usos adecuados o sin conflicto	35.374,22	43,82
TOTAL	80.728,39	100,00

Fuente: (IGAG, 2012).

De acuerdo con el estudio de conflicto de uso elaborado por el Instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAG, 2012), la distribución de los conflictos de uso de suelo se presenta de manera general en la *Figura 18* para en área de evaluación. De este modo, se evidencia que el municipio de San Carlos de Guaroa presenta aproximadamente un 44 % del territorio bajo la categoría de uso adecuado o sin conflicto, el 52 % del territorio no presenta conflicto ambiental, pero se encuentran por debajo del aprovechamiento respecto a la capacidad ofertada por el suelo, donde se encuentra un 25 % de subutilización ligera, 22 % de subutilización moderada y un 4 % de subutilización severa; en menor proporción se encuentran áreas con conflicto ambiental donde las actividades desarrolladas ocupan un 2 % aproximado del territorio, superando la capacidad del suelo y generando su degradación, las áreas de conflicto se encuentran determinadas en función de las áreas agropecuarias (pastos y cultivos) y conflictos urbanos. El porcentaje restante corresponde a las áreas ocupadas por los cuerpos de agua.

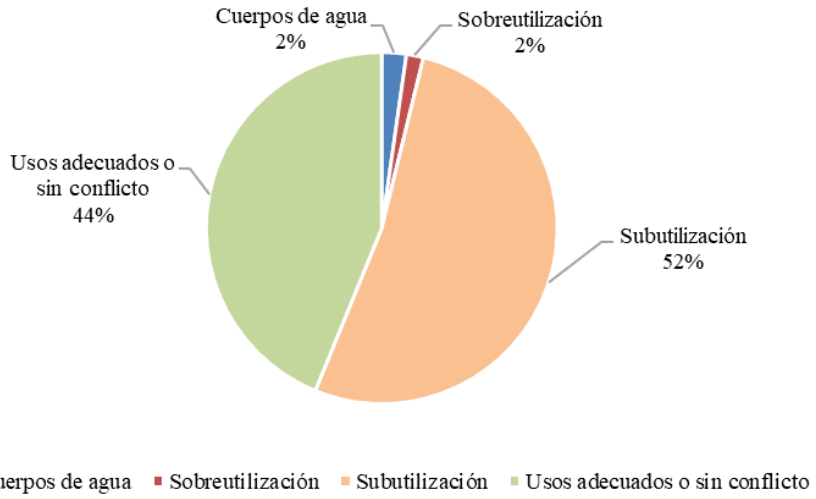


Figura 18. Distribución de los conflictos de uso del suelo, Municipio San Carlos de Guaroa.
Fuente: Autoras, 2019.

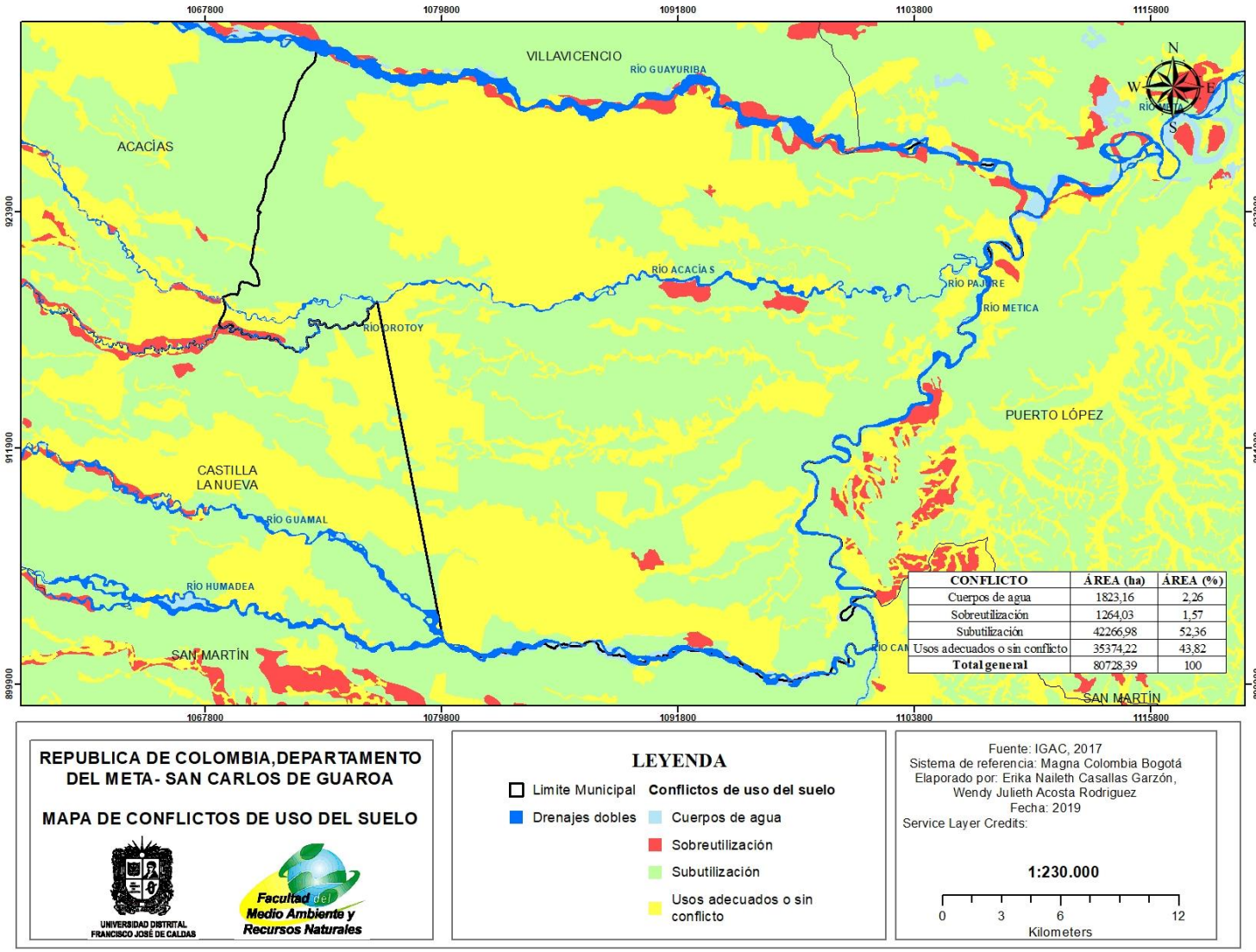


Figura 19. Mapa de conflictos de uso del suelo, municipio San Carlos de Guaroa. Fuente: Autoras, 2019.

Una vez identificados los conflictos de uso del suelo y con el objetivo de llegar a la propuesta del uso recomendado del suelo, se toma como base el mapa nacional de ecosistemas a escala 1:100.000 que proporciona la información de coberturas de la tierra. Mediante la ayuda de herramientas SIG, con el apoyo de los resultados obtenidos en el análisis multitemporal desarrollado, se realiza el ajuste de la capa de coberturas mediante el análisis visual y la digitalización de la información.

Una vez procesada la información se obtienen los resultados presentados en la *Tabla 18* y representados cartográficamente en la *Figura 20*. Las coberturas de la tierra presentes en el municipio se dividieron en 6 grupos: en primer lugar, se encuentra la agricultura, que es la principal actividad económica y ocupa un 47 % del municipio donde predominan los cultivos de palma de aceite y arroz; seguido de la ganadería, la cual ocupa un 36 % del territorio; las coberturas naturales que comprenden los bosques primarios y secundarios y la vegetación secundaria o en transición ocupan un 11 %; también se encuentran sabanas naturales con un 0,40 % de participación; territorios artificializados con 0,20 % y cuerpos de agua con una ocupación del 4%

Tabla 18. Coberturas de la tierra ajustadas, San Carlos de Guaroa.

Categoría cobertura	Cobertura	Área (ha)	Área (%)
Agricultura	Palma de aceite	31.897,55	39,51
	Arroz	5.207,63	6,45
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	499,98	0,62
	Mosaico de cultivos	118,29	0,15
	Mosaico de cultivos y espacios naturales	111,76	0,14
	Mosaico de cultivos y pastos	425,01	0,53
Total agricultura		*38.260,22*	*47,39*
Ganadería	Pastos	27.927,45	34,59
	Mosaico de pastos y espacios naturales	1.854,08	2,30
Total ganadería		*29.781,53*	*36,89*
Sabanas	Herbazal denso inundable	319,74	0,40
Total sabanas		*319,74*	*0,40*
Naturales	Bosque de galería inundable	6.846,95	8,48
	Bosque denso alto inundable	789,50	0,98
	Vegetación secundaria	624,23	0,77
	Bosque denso alto	351,32	0,44
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	335,31	0,42
Total naturales		*8.947,31*	*11,08*
Territorios artificializados	Territorios artificializados	159,46	0,20
Total territorios artificializados		*159,46*	*0,20*
Cuerpos de agua	Rio	3.260,13	4,04
Total cuerpos de agua		*3.260,13*	*4,04*
TOTAL		80.728,39	100,00

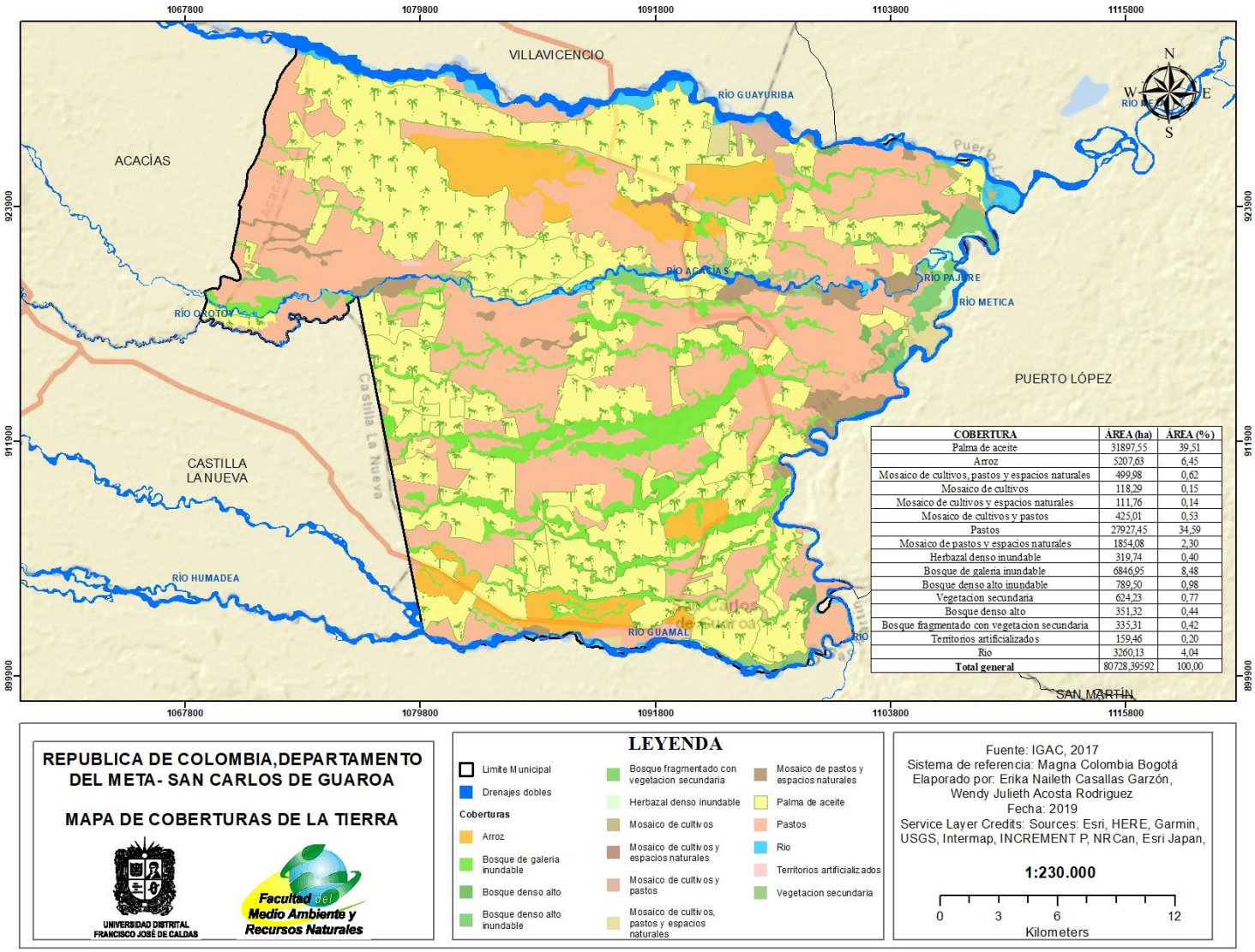


Figura 20. Mapa de coberturas de la tierra.
Fuente: Autoras, 2019.

6.2.6 Propuesta de uso recomendado del suelo

En esta sección se realiza la propuesta de los usos potenciales y sostenibles de la tierra, una vez evaluada la información presentada anteriormente, referente a las principales características y condiciones biofísicas del municipio, es posible definir los posibles usos recomendados, de manera que el aprovechamiento del recurso suelo se realice de una manera óptima. Para el municipio San Carlos de Guaroa se proponen 3 categorías de uso que corresponden a: Áreas de desarrollo urbano, áreas de protección y conservación y áreas productivas. En la *Figura 21* se observa la distribución espacial de las categorías definidas.

Tabla 19. Usos recomendados del suelo, municipio San Carlos de Guaroa.

Categoría de uso recomendado	Cobertura	Área (ha)	Área (%)
Áreas de desarrollo urbano	Territorios artificializados	159,46	0,20
Total Áreas de desarrollo urbano		*159,46*	*0,20*
Áreas de protección y conservación	Bosque de galería inundable	6.846,95	8,48
	Bosque denso alto	351,32	0,44
	Bosque denso alto inundable	789,50	0,98
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	335,31	0,42
	Herbazal denso inundable	319,74	0,40
	Rio	3.260,13	4,04
	Vegetación secundaria	624,23	0,77
Total Áreas de protección y conservación		*12.527,19*	*15,52*
Áreas productivas	Arroz	5207,63	6,45
	Mosaico de cultivos	118,29	0,15
	Mosaico de cultivos y espacios naturales	111,76	0,14
	Mosaico de cultivos y pastos	425,01	0,53
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	499,98	0,62
	Mosaico de pastos y espacios naturales	1.854,08	2,30
	Palma de aceite	31.897,55	39,51
	Pastos	27.927,45	34,59
Total Áreas productivas		*68.041,75*	*84,28*
TOTAL		80.728,39	100,00

Fuente: Autoras, 2019.

Como se puede observar en la *Tabla 19***,** las áreas productivas son el uso predominante en el territorio, con un 84 % de ocupación, de acuerdo a la potencialidad del suelo se pueden definir estas áreas como óptimas para el desarrollo de actividades agropecuarias. En cuanto a la categoría de áreas de protección y conservación con una extensión de 12.527,19 hectáreas (15,5 %), se encuentran las coberturas vegetales que componen la estructura ecológica principal y se encuentran definidas en el esquema de ordenamiento territorial, además de esto, se incluye la franja de protección hídrica que de acuerdo a la normatividad ambiental corresponde a un buffer no inferior a 30 metros de ancho, paralelo a las líneas de mareas máximas a cada lado de los cauces de los drenajes y otra faja de por lo menos 100 m a los nacimientos de fuentes de agua. El uso propuesto para las áreas de desarrollo urbano son las áreas destinadas para la consolidación de áreas urbanas dentro de las cuales se encuentran los centros poblados del municipio donde se realizan diferentes actividades comerciales, sociales, culturales e institucionales del municipio.

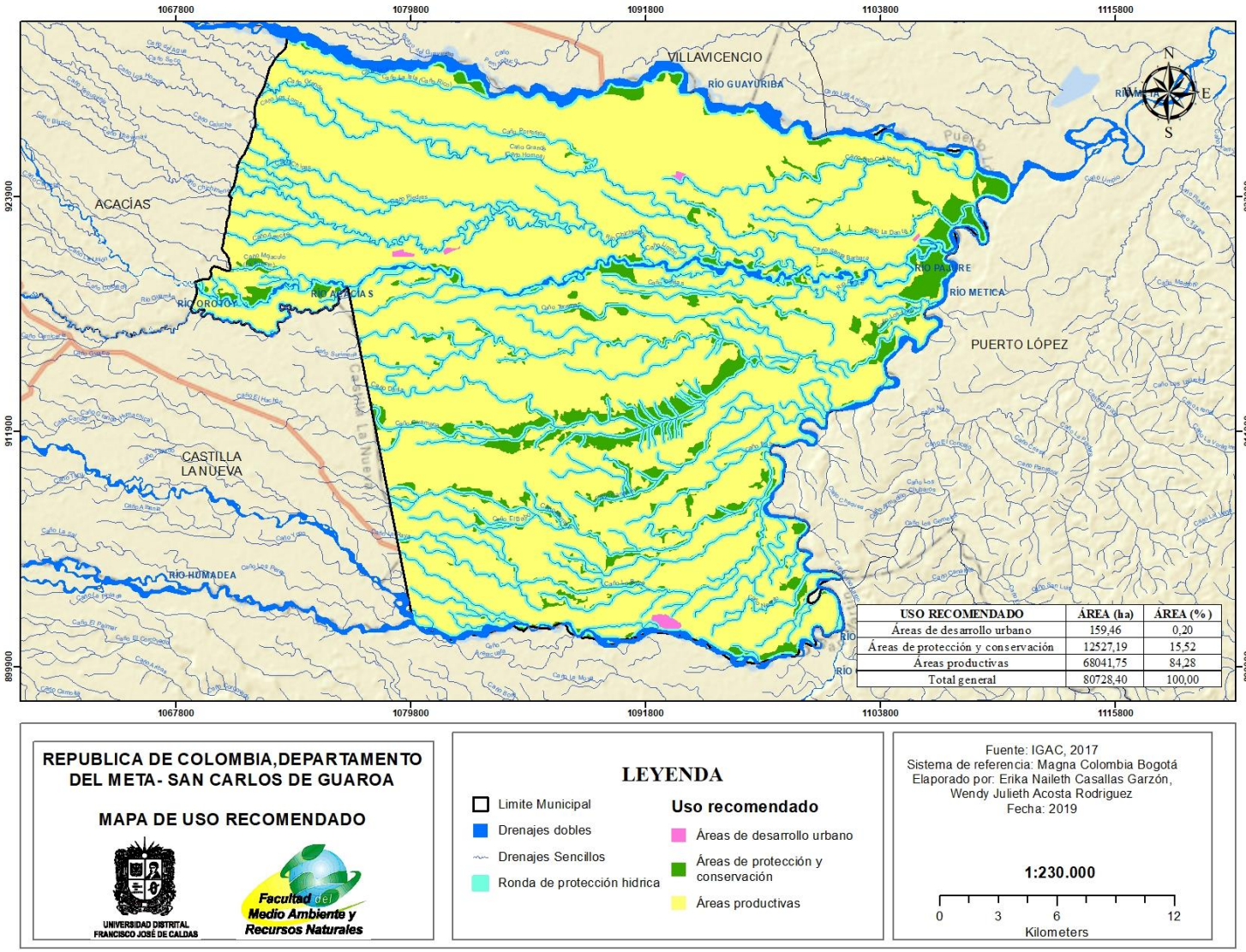


Figura 21. Mapa de usos recomendados del suelo, municipio San Carlos de Guaroa. Fuente: Autoras, 2019.

6.2.7 Análisis comparativo beneficio-costo

A fin de complementar la información y los resultados anteriormente presentados, se buscó la identificación (mediante información secundaria) del beneficio-costo económico y social de las principales actividades productivas desarrolladas actualmente en el municipio de San Carlos de Guaroa, en relación con los bienes y servicios ecosistémicos que ofrecen las áreas naturales allí presentes (bosques y palmares o morichales). Estos resultados se presentan a continuación:

- *Cultivo de palma de aceite*

La estimación de los costos de producción del cultivo de palma de aceite tiene como unidad de medición la producción de una tonelada de Racimo de Fruta Fresca (RFF) y una tonelada de Aceite Crudo de Palma (ACP). En este sentido, se encontró información secundaria sobre el registro de costos de los productores en diferentes zonas del país, realizando una comparación asertiva entre estas. De esta manera, se presentan en la *Tabla 20* los resultados de producción promedio del país en comparación con el municipio de San Carlos de Guaroa.

Tabla 20. Productividad del cultivo de palma de aceite en relación con la edad.

Edad del cultivo	Productividad (tRFF/ha) Promedio Colombia	Productividad (tRFF/ha) San Carlos de Guaroa
3 años	6	2
4 años	11	11
5 años	17	14
6 años	22	20
Adulta	28	25

Fuente: (Mosquera, y otros, 2017).

En este sentido y mediante la comparación a nivel nacional que se presenta en la *Figura 22*, es posible afirmar que la zona de María La Baja primera es la que reporta la mayor producción de RFF llegando a superar durante toda la vida productiva de la palma de aceite los promedios nacionales; en contraste, la productividad del municipio San Carlos de Guaroa es la segunda más baja a nivel nacional durante los primeros 3 años de vida del cultivo, mientras que en las etapas de 6 años y en edad adulta se mantiene dentro de la media, aunque es superada por otras zonas del país. En este sentido, las plantaciones de este municipio reportaron altos costos por hectárea en las etapas de preparación del terreno como respuesta a la limitante de los suelos ácidos y las dificultades para drenar (Mosquera, y otros, 2017).

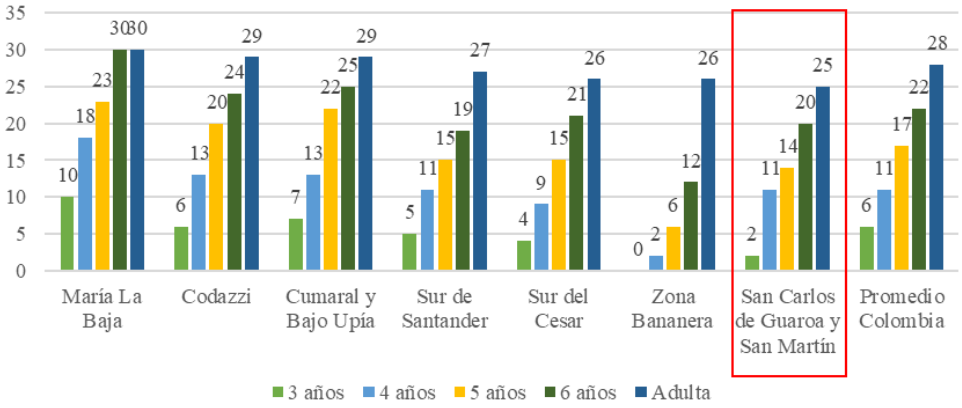


Figura 22. Productividad del cultivo de palma de aceite según edad por Zona.
Fuente: (Mosquera, y otros, 2017)**.**

Asociado a lo anterior, se identificaron los costos de producción para el cultivo de *E. guineensis* a nivel general, encontrándose para el año 2015 un promedio de $7,1 millones por hectárea para el establecimiento del cultivo sin erradicación, mientras que el costo promedio desde el año 1 hasta la etapa adulta de la palma es de $4.708.840, valor que depende de la zona donde sea establecida la plantación y el tipo de sistema de riego o drenaje requerido. En este sentido, se encontró que el costo total del mantenimiento de una hectárea durante los primeros tres años es de aproximadamente $10,5 millones de pesos, que sumados al costo de establecimiento de una hectárea arrojan un total de $19,6 millones por hectárea, lo cual refleja el potencial de inversión requerido para hacer frente a la fase improductiva del cultivo, correspondiente a los primeros años de siembra. Así mismo, las actividades de mayor peso durante el mantenimiento del cultivo son fertilización (27 %) y cosecha y transporte del fruto a la planta de beneficio (26 %) (Mosquera, y otros, 2017). La participación de todas las actividades en el costo total del cultivo de *E. guineensis* para el año 2015 se presentan en la *Figura 23.*

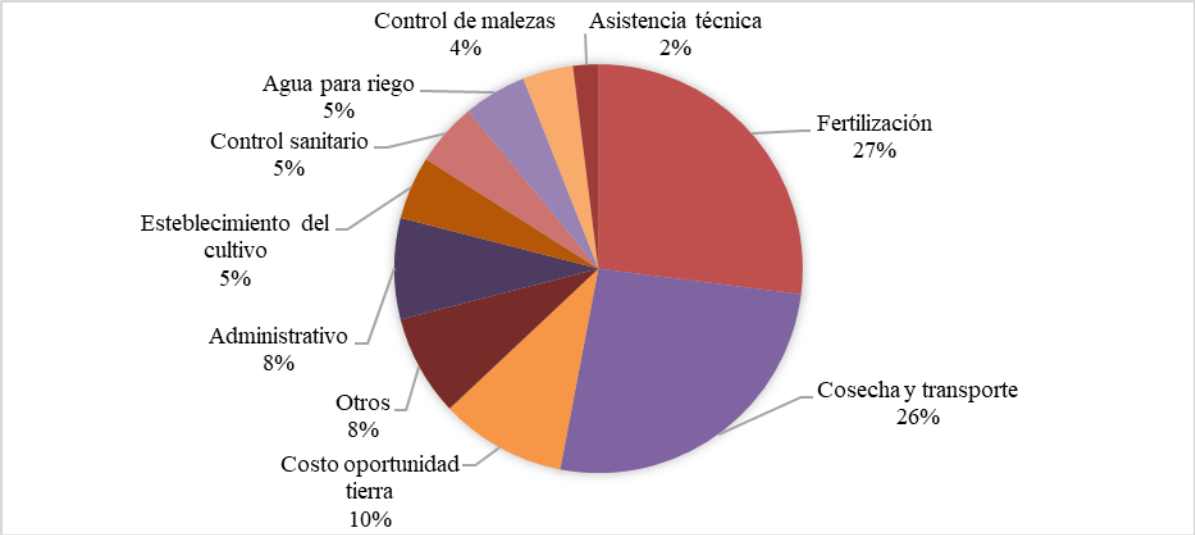


Figura 23. Participación de actividades en el costo total de los cultivos E. guineensis en 2015.
Fuente: (Mosquera, y otros, 2017)**.**

En términos del análisis de los precios de venta del RFF y del ACP, debe tenerse en cuenta que estos están determinados por los costos del seguro y flete (CIF por sus siglas en inglés) de Rotterdam, debido a que a esta ciudad holandesa llega la mayor cantidad de aceite comercializado por las refinerías que tienen los mayores compradores de aceite a nivel mundial. Así mismo, vale la pena mencionar que el precio del ACP está influenciado por factores como la relación oferta-demanda, el precio de otros aceites competidores (soya, oliva, girasol, canola y maíz), el clima de las zonas productoras, los cambios en impuestos, la tasa de cambio y el precio del petróleo (Cuellar, 2016). En Colombia, el precio se fija mensualmente con base al comportamiento del precio del aceite crudo a nivel internacional, teniendo como mecanismos de estabilización de precios del sector palmero el Sistema Andino de Franja de Precios y el Fondo de Estabilización de Precios. La evolución del precio del ACP en Colombia se muestra en la *Figura 24*, de la cual es posible afirmar que en 2015 el precio fue de 724 USD/t, valor que en comparación con el año 2013 supone un decrecimiento del 1 % y del 21 % respecto al precio del año 2012.



Figura 24. Precios anuales ACP en Colombia.
Fuente: Datos de Fedepalma, 2015.

En Colombia, el precio que recibe el productor por tonelada de RFF se fija como un porcentaje del precio del ACP a nivel nacional, que a su vez está condicionado al precio internacional del aceite. Usualmente, el productor recibe por 1 tonelada de RFF entre el 15 y 18 % del precio de la tonelada de ACP a nivel nacional (Precio RFF = Precio ACP x 15 % o 18 %) (Franco, 2010). Así, según los únicos datos oficiales disponibles sobre los precios nacionales del ACP, se encontró que en el año 2017 este cerró con un valor de $ 2.192.000 por tonelada (Fedepalma, 2018), por lo que teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, el precio de 1 tonelada de RFF oscila entre $328.800 y $394.560 al año. Sin embargo, según otras fuentes secundarias consultadas, a abril de 2019 el precio del ACP era de 588,45 USD (IndexMundi, 2019), que en pesos colombianos actuales (junio de 2019) equivalen a $1.933.058, por lo que el precio de 1 tonelada de RFF oscilaría entre $289.958 y $347.950 al año.

Según los datos presentados anteriormente, en San Carlos de Guaroa, 1 hectárea de palma de aceite adulta produce en promedio 25 toneladas de RFF anualmente, y sus costos de producción son de aproximadamente $4.708.840 por hectárea por año. Ahora, por esas 25 tRFF/ha/año al productor le pagan (año actual 2019) aproximadamente entre $7.248.950 y $8.698.750, lo cual supone, utilizando el valor de venta mayor, ganancias de cerca de $3.989.910 por hectárea, suponiendo que todas las palmas son adultas y que se produce la mayor cantidad de Racimos de Fruta Fresca.

En cuanto a la mano de obra generada por el cultivo, la Zona Oriental (en la que se ubica el municipio evaluado) genera un total de 16.998 empleos operativos y 1.931 administrativos en las 278 Unidades Económicas de Palma de Aceite (UEPA)[2] identificadas en esta zona. Del total de empleos generados, 15.921 corresponde a personal masculino y 3.008 a personal femenino, distribuidos en rangos de edad entre 18 y >60 años, siendo el de mayor representatividad el de 26 -35 años (DANE & Fedepalma, 2018). Para calcular el número de empleos generados por unidad de área, se tomó información del Censo Nacional de Palma de Aceite en Colombia (Fedepalma, 2011) sobre la densidad de empleo en las plantaciones de la Zona Oriental; los datos allí reportados muestran que para las 157.863 ha se tenían un total de 16.089 empleados, por lo que según el tamaño de las plantaciones se tienen aproximadamente 0,1 empleos/ha, lo cual significa que en esta zona a cada empleado le corresponden cerca de 9,8 ha.

[2] La UEPA es una unidad de análisis económica que se constituye por la sumatoria de los componentes agrícola e industrial destinados a las actividades de cultivo de palma de aceite y/o extracción del aceite del fruto, bajo la dirección de un mismo producto palmero a nivel nacional. Una UEPA puede agrupar una o varias Unidades de Producción del cultivo (plantación), reproducción de material vegetal (vivero) y extracción de aceite (planta de beneficio).

- *Cultivo de arroz*

Para identificar el rendimiento y los costos de producción del cultivo de arroz se consultaron fuentes oficiales nacionales como Fedearroz (Federación Nacional de Arroceros), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) y FINAGRO (Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario). De acuerdo con la información anteriormente presentada como resultado de la caracterización del municipio de San Carlos de Guaroa, del total de hectáreas sembradas con arroz, el 84 % corresponde a arroz de riego y el 16 % restante a arroz secano (Alcaldía Municipal San Carlos de Guaroa, 2016).

A nivel nacional, los costos de producción de arroz de riego por hectárea en pesos colombianos durante el año 2018 equivalieron a $ 6.153.049, mientras que los costos de producción de arroz secano por hectárea fueron para el mismo periodo evaluado fueron de $4.207.080. La diferenciación por rubros para cada caso se presenta en la *Figura 25*, de la cual es posible afirmar que durante la producción de arroz de riego en Colombia, los rubros que generan los costos más altos por hectárea corresponden a arriendos ($1.133.749), protección al cultivo ($1.089.869) y fertilizantes ($1.089.869), mientras que para la producción de arroz secano los mayores rubros están relacionados con las actividades de preparación y siembra ($967.850), recolección ($873.036), protección al cultivo ($826.689) y fertilizantes ($764.005) (Fedearroz, 2019).

Para la región de los Llanos Orientales, los resultados arrojaron para los costos de producción de arroz de riego por hectárea un total de $5.043.049, mientras que respecto al arroz secano este valor fue de $4.410.280 para el año 2018, lo cual refleja una diferencia notoria especialmente en la producción de arroz de riego en comparación con el promedio nacional, debido a la disminución en los rubros como arriendo ($440.977), asistencia técnica ($42.352) y riego ($207.817) (Fedearroz, 2019).

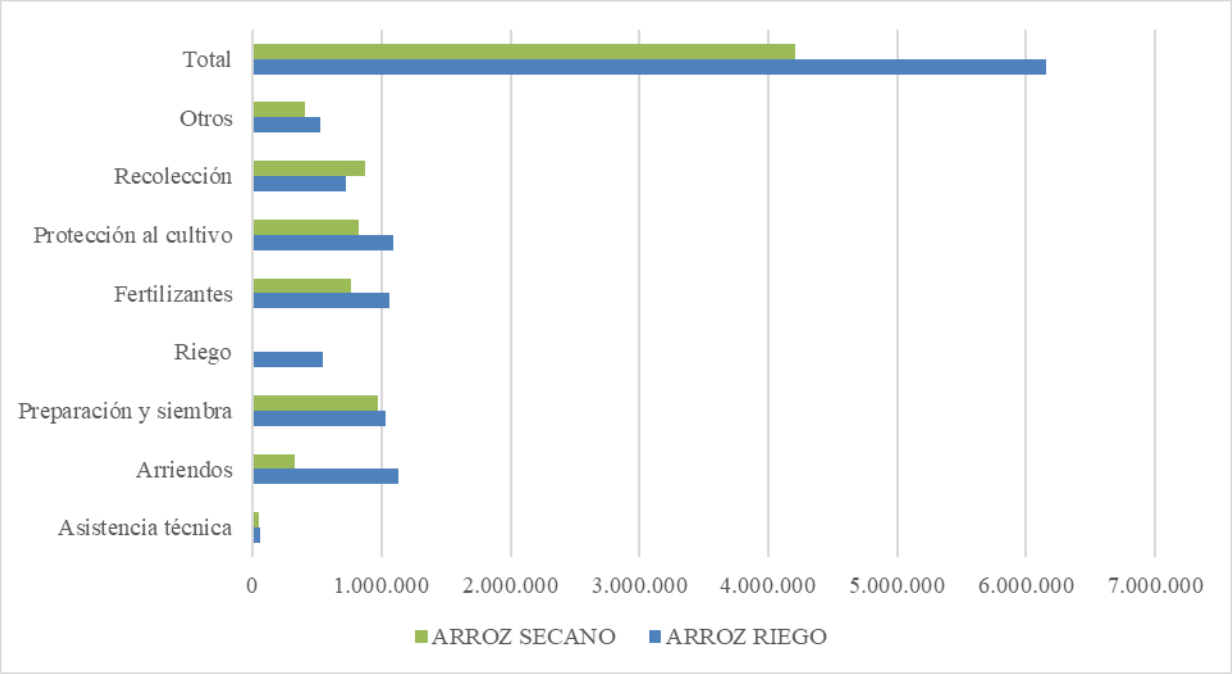


Figura 25. Rubros costos de producción arroz a nivel nacional.
Fuente: (Fedearroz, 2019)**.**

Para evaluar la producción y rendimiento del cultivo de arroz, los datos oficiales sólo permiten diferenciar los valores según el tipo de siembra y cosecha, es decir, mecanizado o manual por lo que en este caso no se distinguirá entre el arroz de riego y secano. En el año 2018 a nivel nacional se registraron un total de 522.444 hectáreas de arroz sembradas, de las cuales 500.924 ha correspondían a arroz mecanizado y 21.520 ha a arroz manual; de estas, 222.687 ha fueron sembradas en la zona de los Llanos Orientales, en la cual se localiza el área objeto de evaluación. Para esta región (o zona), la producción en el año 2018 equivalió a 1.009.751 toneladas, con un rendimiento de 4,56 t/ha/año de arroz paddy seco, el cual es inferior al promedio reportado a nivel nacional que corresponde a 4,84 t/ha/año y a la Zona Centro que tiene un rendimiento de 6,15 t/ha (Fedearroz, 2019). En términos de ventas del arroz blanco en la zona de los Llanos orientales, a mayo de 2019 se registró un precio de $2.040.000 por tonelada, mientras que para el arroz Paddy este precio para el mismo periodo de análisis fue de $960.000 por tonelada, existiendo una enorme diferencia entre ambas variedades. Según el Censo Nacional Arrocero Zona Llanos Orientales, en San Carlos de Guaroa se cultiva arroz Paddy verde (Fedearroz, 2008), por lo que para el presente análisis se tendrán en cuenta los precios de esta variedad.

Teniendo en cuenta lo anterior, en los Llanos Orientales, donde se ubica el municipio evaluado, 1 hectárea de arroz produce aproximadamente 4,56 toneladas al año, donde los costos de producción de dicha hectárea corresponden a $5.043.049 para arroz de riego y $4.410.280 para arroz secano anualmente; ahora, teniendo en cuenta que en San Carlos de Guaroa del total de hectáreas sembradas con arroz el 84 % corresponde a arroz de riego y el 16 % restante a arroz secano (Alcaldía Municipal San Carlos de Guaroa, 2016), se tomará como base el valor del arroz de riego. El productor de los Llanos Orientales, al año, vende 1 tonelada de arroz paddy verde a $960.000, por lo que suponiendo que una hectárea produce 4,56 toneladas, el productor está recibiendo un aproximado de $4.377.600 que, restado a los costos de producción, se obtiene un déficit de $665.449 que pueden ser compensados por el rubro de arriendo, en caso de que la tierra sea propia.

Los beneficios sociales se analizarán en términos de la mano de obra requerida y generada por actividad productiva. En este sentido, se tiene que en el año 2017 se generaron 482.000 empleos directos e indirectos (UGRA, 2018), distribuidos en 595.371 ha a nivel nacional, por lo cual la densidad de empleos por unidad de área es de 0,8 empleos/ha.

- *Ganadería*

La información sobre el inventario bovino, los costos de producción y el rendimiento de la actividad ganadera se obtuvieron de Fedegan (Federación Colombiana de Ganaderos) debido a que el municipio no reporta datos oficiales. La producción ganadera en Colombia en el año 2017 se estima fue de 905.582 toneladas de carne, 7.094 millones de litros de leche cruda y una tasa de extracción del 17,6 %, cifras inferiores a los datos reportados en los años anteriores.

El promedio de los costos de producción para el año 2018 se encuentran en 2.608 $/kilo en pie, mientras que para la región de los Llanos Orientales este valor es de 2.803 $/kilo en pie para el año 2018; ahora, al analizar los costos de producción por litro de leche, estos están en 793 $/litro en promedio para el país y en 749 $/litro para los Llanos Orientales (Fedegan, 2019). En San Carlos de Guaroa se tenían inventariados para el año 2015 un total de 40.886 bovinos (22.308 hembras y 18.578 machos) que se distribuían en 174 predios (Fedegan, 2016). Ahora, dado que los costos de producción oficiales se reportan en función de la unidad de producción (kilos-litros) y no en función del número de hectáreas requeridas, estos se estimarán para el área de estudio mediante una aproximación teniendo en cuenta información secundaria; así, si para el año 2015 se tenían en el municipio 40.886 bovinos, y cada bovino pesa aproximadamente 400 kilos, los costos de producción en este caso serían superiores a 45.000 millones de pesos colombianos, mientras que los costos de producción asociados a la leche estarían en 300 millones de pesos colombianos, asumiendo una producción de aproximadamente 18 litros por hembra. Sin embargo, para lograr una homogeneidad en

los datos a contrastar, se utilizará el valor calculado por hectárea teniendo en cuenta la capacidad de carga animal del país y el peso aproximado que ganan los animales diariamente.

En Colombia, la capacidad de carga animal oficial es de 0,60 animales/ha (Fedegan, 2006); así mismo, se estima que en la ganadería de engorde los animales pueden ganar en promedio 1 kg de peso al día, por lo que la productividad anual estaría dada (de acuerdo a la metodología presentada por (Santana, 2014)) multiplicando la capacidad de carga por el peso que gana un animal al día por los 365 días del año, obteniendo un valor de 219 kg/ha/año. De acuerdo a los resultados presentados en la *Figura 20* **y** *Tabla 18***,** actualmente en San Carlos de Guaroa existen 29.781,53 ha con coberturas de pastos y espacios naturales que se asocian directamente con el desarrollo de la actividad ganadera; en este sentido, de acuerdo a la capacidad de carga animal y a las coberturas de la tierra en el municipio, las 29.781,53 ha de pastos y espacios naturales relacionados con la actividad ganadera son capaces de albergar 17.869 animales en el municipio, cifra inferior a la reportada en el año 2015.

Teniendo en cuenta esto, los costos de producción por kilo en pie son de $2.608 mientras que por litro de leche corresponden a $793; tomando como referencia la capacidad de carga animal (0,6 animales/ha) y a fin de generar los datos no por animal sino por kilogramo (siendo esta la unidad de medida de los costos y precios) y tal como se mencionó anteriormente, la productividad de la actividad correspondería a 219 kg/ha/año que, multiplicados por los costos de producción por kilo en pie arrojan un resultado de $571.152/ha/año. En Colombia, el precio indicativo promedio de venta de un novillo gordo en pie es de 4.851 $/kg (Fedegan, 2018), por lo que, según lo anterior, por la venta de 219 kg/ha/año, el productor estaría recibiendo aproximadamente $1.003.896; teniendo en cuenta estos resultados, las ganancias por hectárea corresponden a $432.744.

Para calcular el empleo ganadero se tomaron datos del número de hectáreas dedicadas a la actividad pecuaria y el total de empleos generados en esa unidad de área para todo el territorio colombiano. Así, los únicos datos oficiales disponibles datan del año 2002, y en ellos se reportaban 68.026.714 ha sembradas con pastos y/o malezas dedicados a la cría y levante de ganado, con un total de empleos generados de 824.000, por lo cual la relación entre extensión y mano de obra requerida arroja un valor de 0,012 empleos/ha al año (Viloria, 2003).

- *Servicios ecosistémicos de los bosques naturales*

La protección y conservación de las coberturas naturales presentes en el municipio está directamente vinculada con la identificación de la capacidad, vocación y conflictos de la tierra en relación con el desarrollo de las actividades productivas anteriormente analizadas. Con base en la cartografía nacional de coberturas, en San Carlos de Guaroa se identificaron 6.846,95 ha de bosque de galería inundable, 789,50 ha de bosque denso alto inundable, 624,23 ha de vegetación secundaria, 351,32 ha de bosque denso alto y 335,31 ha de bosque fragmentado con vegetación secundaria, siendo estas las coberturas naturales que prestan un sinnúmero de servicios ecosistémicos, entendidos estos como los componentes de los ecosistemas que se consumen directamente, se disfruta o que contribuyen a generar condiciones adecuadas para el bienestar humano (Quijas, Schmid, & Balvanera, 2010). De este modo, se describirán a continuación los principales servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques de galería y riparios, los morichales y las zonas pantanosas o inundables, siendo estas formaciones típicas de la Orinoquía colombiana y cuya importancia vale la pena tener en consideración.

Las zonas ribereñas son un elemento de regulación del estado ecológico y físico de los cuerpos de agua y por consiguiente se constituyen como un componente clave en el control de la calidad del agua (Agropolis International, 2012). Estos ecosistemas son la interfase entre los ecosistemas terrestres y acuáticos y por lo tanto se caracterizan por la presencia temporal o permanente de saturación de agua, el intercambio permanente entre el ambiente superficial y subterráneo y la existencia de comunidades bióticas muy

particulares y específicas; por lo tanto, cumplen un papel fundamental dentro de los ciclos biogeoquímicos ya que al representar ambientes muy ricos en biomasa de raíces y materia orgánica tienen una alta capacidad de interceptar y retener el exceso de partículas y nutrientes disueltos en el agua, relacionada directamente con una disminución de la velocidad de la escorrentía y de la erosión hídrica, facilitando así la remoción de sedimentos suspendidos, compuestos tóxicos y pesticidas (Meli, Ruíz, & Carabias, 2014). En consecuencia, la reducción de las concentraciones de nitratos y la desnitrificación de fertilizantes tiene efectos directos en la regulación de la calidad del agua (Naiman, Décamps, & McClain, 2005).

Debido a que las áreas ribereñas sufren frecuentes periodos de inundación, resultan clave para la distribución del agua y para determinar los gradientes y flujos de materia y energía en el entorno. Estos procesos surgen como consecuencia de la alta diversidad de especies vegetales y animales presentes en las áreas riparias, riqueza que ha permitido que a lo largo de los márgenes de los cuerpos de agua las plantas se adapten a los regímenes de inundaciones y sequía (cada uno con frecuencia, magnitud y duración diferente). Lo anterior está directamente relacionado con la dinámica hidrológica, ya que el almacenamiento de agua superficial y de sedimentos favorece la atenuación de los picos de flujo de agua y el desarrollo de la geomorfología fluvial, lo cual ayuda a mitigar los posibles daños ocasionados por las inundaciones, favoreciendo así la erosión de la ribera y el desarrollo del suelo (Meli, Ruíz, & Carabias, 2014).

Así mismo, las zonas pantanosas y humedales son considerados parte fundamental en los ciclos vitales del planeta, siendo cuna de diversidad biológica y fuentes de agua de las que innumerables especies vegetales y animales dependen para subsistir. Como parte de los servicios ecosistémicos que estas áreas ofrecen se encuentran la regulación hídrica superficial y subterránea que permite la provisión del recurso en época de estiaje, así como la mitigación de impactos (desbordamientos e inundaciones) en temporada de lluvias, debido a su papel en la regulación de los caudales y flujos de agua. De igual forma, cumplen una función vital en el control de la erosión y el transporte de sedimentos, aportando directamente a los procesos de adaptación al cambio climático. Dentro del servicio ecosistémico de control de inundaciones, las zonas pantanosas cumplen funciones como la ralentización del flujo, el almacenamiento de agua de las crecidas y la protección contra tormentas debido al entrelazamiento de las raíces de la vegetación, reduciendo así los efectos devastadores. Así mismo, en la depuración de aguas las raíces de la vegetación de las zonas pantanosas, los sedimentos y suelos de estas áreas bloquean los contaminantes, depirando eficazmente el recurso hídrico mediante procesos de fitorremediación (Ramsar, 2014) (Florez, 2015).

La flora riparia tiende a ser más alta y densa estructuralmente que la vegetación presente en sus alrededores; por tanto, la sombra que esta produce es determinante en las fluctuaciones de temperatura de los cauces y en la cantidad de luz que ingresa al lecho de los cuerpos de agua, afectando el crecimiento de las plantas y consecuentemente, a la ictiofauna y demás vertebrados que se alimentan de animales y frutas provenientes de la zona riparia (Arcos, 2005). Así mismo, se ha identificado una estrecha relación entre la vegetación riparia y la fauna íctica, donde la pérdida de la vegetación ribereña conlleva al inmediato incremento de la temperatura del agua, el incremento en la fuerza de la corriente y en el volumen del caudal, conllevando a la reducción en la concentración de oxígeno en el agua y causando un descenso en las poblaciones de peces, además de cambios en la composición de especies (López, 2013).

En términos de reposición de aguas subterráneas, las áreas pantanosas permiten la filtración de agua en caso de que el nivel freático se encuentre bajo, y liberan agua hacia la superficie cuando los acuíferos están sobresaturados. La vegetación asociada a las zonas de pantano juega un papel fundamental en la retención de sedimentos y nutrientes que son transportados por agua de escorrentía y otros cuerpos de agua debido a que extrae dichos nutrientes provenientes del suelo o del agua y los dejan fijos hasta que sean liberados al ambiente nuevamente (Ramsar, 2014) (Florez, 2015).

Las zonas riparias también desempeñan un papel fundamental en la prevención y protección contra incendios. En las áreas abiertas que carecen de vegetación ribereña, la contaminación y la concentración de

agentes nocivos, polvo y demás partículas generan efectos adversos en el ambiente, por lo que el mantenimiento o la restauración de las zonas riparias influye directamente en la regulación de la calidad del aire y del clima local, ayudando a prevenir los incendios forestales (Abouhamad, Rojas, Méndez, Salazar, & Salmerón, 2017) disminuyendo la temperatura local y reduciendo la existencia de temperaturas extremas (FAO, 2019).

Así mismo, varios estudios sugieren que las estructuras vegetales asociadas a los cultivos influyen en la clase, abundancia y tiempo de llegada de fitófagos y de sus enemigos naturales, ya que grandes poblaciones de ciertas plagas migran en masa hacia coberturas naturales diferentes a los monocultivos (especialmente recién establecidos). Algunas especies de hierbas presentes en áreas próximas a los cultivos pueden servir como hospedadoras alternativas para las plagas, ya que la vegetación contigua a cultivos suele proporcionar el alimento alternativo y hábitat especial para perpetuar determinados enemigos naturales de las plagas (Angel & Nicholls, 2009).

De otra parte, los morichales o también llamados palmares densos de pantano de *Mauritia flexuosa* de los Llanos Orientales de Venezuela y Colombia constituyen un sistema ecológico conformado por un subsistema terrestre y uno lótico, entre los cuales se genera un intercambio de materia y energía del que depende la mayor parte de la cadena trófica del subsistema fluvial; pese a su importancia, se han visto damnificados a causa de la expansión demográfica y la creciente explotación de recursos. Dentro de los servicios ecosistémicos de los morichales se encuentran la fijación de carbono (estimada en 225 Mg/ha/año), la regulación del balance hídrico vital a través del sistema de liberación gradual del agua suministrada por los acuíferos presentes en el subsuelo, la reducción de la contaminación del agua a través de la denominada zona hiporreica y la provisión de hábitat para fauna debido a la complejidad estructural del morichal en relación a las sabanas adyacentes (González & Rial, 2011).

La síntesis de los resultados anteriormente presentados se muestra en la *Tabla 21*.

Tabla 21. Beneficio-costo de las principales actividades económicas en relación con la prestación de servicios ecosistémicos de los bosques naturales.

Ítem	Palma de aceite[3]	Arroz de riego[4]	Ganadería extensiva[5]
Productividad o rendimiento	25 t/ha/año	4,56 t/ha/año	219 kg/ha/año
Ciclo de producción	36,5 cosechas/año	1 cosecha/año	0,4 animales/año
Costos de producción	$4.708.840/ha/año	$5.043.049/ha/año	$571.152/ha/año
Precio de venta	$289.958/t - $347.950/t	$960.000/t	$4.851/kg
Precio de venta según productividad	$7.248.950/ha/año - $8.698.750/ha/año	$4.377.600/ha/año	$1.003.896
Utilidad	$3.989.910/ha/año	-$665.449/ha/año	$432.744
Empleo	0,1/ha/año	0,8/ha/año	0,012/ha/año
Ítem	Bosques naturales		
Servicios ecosistémicos	Servicios ecosistémicos: - Control de la calidad del agua. - Regulación ciclos biogeoquímicos. - Regulación del agua superficial (inundaciones y sequías). - Cuna de diversidad biológica.		

[3] Suponiendo que todas las palmas son adultas y producen el máximo rendimiento.
[4] Arroz Paddy Verde.
[5] Suponiendo ventas únicamente de ganado en pie, y no de leche.

	- Regulación del agua subterránea. - Control de la erosión y transporte de sedimentos. - Regulación de la temperatura ambiental y de los cauces. - Prevención y protección contra incendios.

De la tabla anterior es posible afirmar que, de las tres actividades productivas analizadas, la que exige los mayores costos de producción por hectárea son el arroz y la palma de aceite, con $5.043.049/ha/año y $4.708.840/ha/año respectivamente, frente a $571.152/ha/año para la actividad ganadera. En términos de precio de venta, no es posible realizar la comparación homogéneamente entre las tres actividades debido a que para la actividad agrícola este valor está dado en precio por tonelada, mientras que para la actividad pecuaria se da en precio por kilogramo del animal; aun así, entre los dos cultivos evaluados el arroz de riego se comercializa a un valor muy superior al de la palma de aceite ($960.000/t frente a $289.958/t - $347.950/t); no obstante, a pesar de esto, la palma de aceite tiene un rendimiento por hectárea muy superior al del arroz de riego (cinco veces superior), por lo que el precio de venta según la productividad del cultivo es sustancialmente mayor para la palma africana en comparación con el arroz. El cálculo para la ganadería extensiva desarrollada en el municipio se desarrolló teniendo en cuenta la capacidad de carga nacional, equivalente a 0,60 animales por hectárea, lo cual da como resultado una productividad de 219 kg/ha/año; teniendo esto presente, se encontró que los costos de producción de esta actividad son muy inferiores a los de las actividades agrícolas analizadas, con $571.152/ha/año, aunque el precio de venta según la productividad es igualmente inferior comparativamente, con $1.003.896. En términos de utilidad, la palma de aceite representó un valor mucho mayor al de las otras actividades evaluadas, mientras que el arroz de riego obtuvo un valor negativo, lo cual significa que en el desarrollo de esta actividad son mayores los costos que las ganancias o utilidades que se obtienen de la venta. Respecto al empleo generado, el arroz de riego es el que mayor valor obtuvo, con 0,8 empleos por hectárea, mientras que la ganadería obtuvo 0,012 empleos por hectáreas.

7 Discusión de resultados

El análisis multitemporal permitió evaluar el cambio de las coberturas en el municipio San Carlos de Guaroa durante el periodo comprendido entre 1990 y 2019 de acuerdo con el primer objetivo específico del proyecto. Al comparar los resultados obtenidos de esta sección con el estudio elaborado por (Rojas, 2016), se confirma la consolidación de la agroindustria palmera y el crecimiento acelerado que tuvo durante los años evaluados. Otra dinámica importante de cambio que coincide con los resultados presentados por (Rojas, 2016) en su estudio, es la perdida de coberturas vegetales, principalmente de bosque de galería. De acuerdo con los resultados obtenidos se deduce que la cobertura boscosa fue aparentemente sustituida por la extensión de los cultivos de palma, generando conflictos ambientales como lo es la perdida de ecosistemas naturales y estratégicos. Además de esto, el cultivo también reemplazó otras coberturas dedicadas a actividades pecuarias y de cultivos, acabando con la tradición arrocera del municipio.

En la propuesta de uso recomendado según la potencialidad del suelo se definen tres categorías: áreas de desarrollo urbano, áreas de protección y conservación y áreas productivas. El EOT del municipio brinda una guía para la identificación de las áreas de protección y conservación, ya que establece los bosques naturales como parte de la estructura ecológica principal y además de esto, de acuerdo con el Decreto Ley 1449 de 1977, propone las franjas de protección hídrica con un ancho definido que no puede ser intervenido. Sin embargo, comparando la información de la franja riparia con las coberturas presentes en el territorio, se evidencia que más del 50 % se ubica en áreas donde se realizan actividades agropecuarias generando un conflicto dado que estas áreas están fuertemente intervenidas.

De acuerdo con el marco referencial del proyecto, no se encontraron investigaciones o proyectos que reportaran datos sobre el uso recomendado en San Carlos de Guaroa y, por consiguiente, no es posible realizar una comparación entre los resultados contenidos en el presente documento con otros informes de temáticas similares. Sin embargo, el principal uso recomendado teniendo en cuenta la capacidad y vocación del suelo es el desarrollo de áreas productivas, las cuales comprenden zonas dedicadas a cultivos agrícolas y pastos para la actividad ganadera. No obstante, se espera que el análisis realizado sobre la relación entre el beneficio y el costo de la ejecución de estas actividades económicas sirva de base para el desarrollo de estudios más detallados con otros énfasis (social, económico y agropecuario) que permitan complementar estos datos y proporcionar una visión complementaria acerca de cuál es la actividad económica que mayores beneficios acarrearía en el municipio considerando las tres esferas del desarrollo sostenible.

8 Conclusiones y recomendaciones

- Mediante el análisis multitemporal se encontró que en San Carlos de Guaroa, en el periodo 1990 – 2019, las coberturas que tuvieron una disminución en su superficie fueron Bosque de galería y ripario con una disminución de 7.126,64 ha de la extensión inicial, Herbazal abierto, con una baja de 6.539,89 ha y el Mosaico de pastos y cultivos, con una merma de 12.027,64 ha; es posible asumir que esta dinámica de cambio se encuentra directamente relacionada con la ganancia de área del cultivo de palma de aceite, que para el mismo periodo obtuvo un incremento de 22.201,51 ha, el cual estuvo impulsado por los diferentes programas de gobierno que, entre la década del 90 y principios de la década del 2000, promovieron la expansión de este cultivo para la producción de aceite de palma y biodiesel. Debido a lo anterior, esta actividad agroindustrial se ha consolidado como la principal dentro del sector productivo de San Carlos de Guaroa, lo cual justifica el hecho de ser hoy día el municipio con mayor extensión de palma de aceite en el país.

- La caracterización del municipio y el análisis multitemporal realizados son una aproximación a la realidad del municipio y, pese a que no constituyen datos exactos, permiten conocer y evaluar la trayectoria del territorio, los cambios que han sucedido en él y las dinámicas económicas y ambientales que se han generado especialmente en torno al crecimiento del cultivo de palma de aceite. Con base en estos resultados es posible realizar un análisis tendencial que permita prever las futuras acciones que se generarán en San Carlos de Guaroa si las condiciones de desarrollo de las plantaciones de palma africana se mantienen u optimizan (mejora de los precios, ampliación de mercados, mayores oportunidades de producción, etc.) de manera que sea posible expandir o mantener las áreas que actualmente se encuentran ocupadas por esta cobertura.

- El ordenamiento territorial de San Carlos de Guaroa (o de cualquier otro municipio a una escala mayor) debe estar basado en un diagnóstico situacional real, actual y verídico, de forma que permita conocer las características del área especialmente en relación con las coberturas de la tierra, los usos actuales del suelo y los ecosistemas que convergen en el territorio, pues sólo de esta manera podrá ejercerse una planificación adecuada que comprenda las relaciones entre los aspectos económicos, sociales y ambientales y que responda a las necesidades de la zona en términos del desarrollo sostenible.

- La información geográfica utilizada para la identificación de la clasificación del suelo (capacidad, vocación, frontera agrícola y conflicto) fue desarrollado para todo el territorio nacional y, por lo tanto, al utilizarla para un estudio más detallado resulta insuficiente y poco útil debido a que la escala de trabajo es significativamente mayor a la requerida para áreas más específicas; el uso de esta información puede generar confusión y no constituye un insumo óptimo en términos del ordenamiento del territorio.

- El Esquema de Ordenamiento Territorial de San Carlos de Guaroa vigente no establece el uso recomendado del suelo rural y, por consiguiente, no se garantiza que la utilización de este recurso sea la más adecuada en términos ambientales, sociales y económicos. Bajo esta premisa, la formulación de la propuesta de uso del suelo presentada en este documento puede resultar útil para el municipio ya que tiene en cuenta la conservación de la estructura ecológica principal estipulada en el EOT y el desarrollo de zonas urbanas y productivas asociadas al desarrollo sostenible del territorio.

- El análisis beneficio-costo del desarrollo de las principales actividades productivas en el municipio de San Carlos de Guaroa permitió identificar que el cultivo de palma de aceite es el que genera mayor productividad por unidad de superficie, con 25 t/ha/año frente a 4,56 t/ha/año para la producción de arroz de riego y 219 kg/ha/año para la ganadería extensiva. Así mismo, si bien los

costos de producción de las plantaciones de palma aceitera son significativos teniendo en cuenta la extensión de los cultivos, el precio de venta por tonelada es hasta dos veces superior que el arroz de riego y hasta siete veces mayor que la ganadería extensiva, lo cual genera utilidades considerables. Respecto a los beneficios sociales, cuantificados únicamente teniendo en consideración la cantidad de mano de obra generada por unidad de superficie, la consulta bibliográfica arrojó como resultado que todas las actividades evaluadas generan menor de un empleo por hectárea; sin embrago, comparativamente es posible afirmar que el cultivo de arroz de riego genera mayor mano de obra (0,8 empleo/ha) que el cultivo de palma de aceite (0,1 empleo/ha) y que la ganadería extensiva (0,012 empleo/ha), siendo esta última la actividad menos beneficiosa en términos de vinculamiento laboral.

- San Carlos de Guaroa ha sido históricamente un municipio con una gran riqueza agrícola y pecuaria, siendo estas las principales actividades productivas y aquellas que mayor aporte generan dentro de la economía interna local; por consiguiente, conocer los aspectos clave de estas actividades, así como las condiciones bajo las cuales se están desarrollando debe ser la base a partir de la cual se genere la planificación territorial. Actualmente, los planes oficiales del municipio no cuentan con información que revele las características de las actividades económicas y productivas (generación de bienes y servicios) en el territorio por lo que el levantamiento de estos datos puede llegar a ser de gran utilidad tanto para las autoridades competentes como para los habitantes y empresarios del área de evaluación. Fedepalma, Fedearroz y Fedegan cuentan con información recolectada a través de los censos agrícolas y pecuarios, por lo que un trabajo mancomunado entre las partes puede resultar altamente beneficioso.

- Dentro de la estructura ecológica principal del municipio se establecen medidas dirigidas a la protección y conservación de las áreas forestales protectoras como los nacimientos de las fuentes de agua, los cauces de los ríos, quebradas y arroyos (permanentes o temporales) y los lagos o depósitos de agua. Sin embargo, a pesar de que dichas medidas están determinadas por la normatividad ambiental nacional, mediante el desarrollo del presente proyecto se encontró que gran parte de las franjas de protección de 100 metros para los nacimientos hídricos y 30 metros para cuerpos de agua superficiales no presentan cobertura boscosa. Del área total que representan las franjas de protección (5.756,97 ha), el 58,36 % se ubica sobre zonas agropecuarias donde predominan las coberturas de pastizales y cultivos, y el 41,64 % se encuentra con cobertura forestal, lo cual indica que las directrices establecidas por la legislación nacional y adoptadas por el EOT vigente no están siendo cumplidas a cabalidad, resultando ser esto una afectación potencial sobre los componentes de las áreas de especial importancia ecosistémica. Por consiguiente, se recomienda a las autoridades municipales asegurar el mantenimiento y conservación de estas zonas en pro del cumplimiento de los objetivos de protección y conservación de los recursos naturales.

9 Bibliografía

Abouhamad, S., Rojas, M., Méndez, J., Salazar, K., & Salmerón, A. (2017). Servicios ecosistémicos de regulación que benefician a la sociedad y su relación con la restauración ecológica. *Biocenosis, 31*(1-2), 80-92. Obtenido de https://investiga.uned.ac.cr/revistas/index.php/biocenosis/article/viewFile/1731/1958

ABRAPALMA. (2015). *Asociación Brasilera de Productores de Aceite de Palma* . Obtenido de La palma en Brasil y el mundo: http://www.abrapalma.org/es/la-palma-en-brasil-y-el-mundo/

Agropolis International. (2012). *Preservación y restauración de la calidad del agua.* Agropolis International. Obtenido de http://www.agropolis.org/es/pdf/dossier-agua/preservacion-calidad-agua.pdf

Albentosa, L. (1990). *Climatología y medio ambiente.* Barcelona: Universitat de Barcelona. Obtenido de https://books.google.com.co/books?id=d8FJb5xV0VYC&pg=PA161&dq=clima+definicion&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiv1pK9zsTdAhWInFkKHdq1D7MQ6AEILTAB#v=onepage&q=clima%20definicion&f=false

Alcaldía Municipal de Toca. (2001). *Esquema de Ordenamiento Territorial Municipio de Toca.* Toca: Alcaldía Municipal de Toca.

Alcaldía Municipal San Carlos de Guaroa. (2015). *Documento Técnico de Soporte EOT.* Alcaldía de San Carlos de Guaroa. Recuperado el 05 de 2019

Alcaldía Municipal San Carlos de Guaroa. (2015). *Esquema de Ordenamiento Territorial Municipio San Carlos de Guaroa.* Alcaldía Municipal San Carlos de Guaroa.

Alcaldía Municipal San Carlos de Guaroa. (2016). *Plan de Desarrollo Territorial.* San Carlos de Guaroa: Alcaldía de San Carlos de Guaroa. Recuperado el 05 de 2019

Alcaldía San Carlos de Guaroa. (2016). *Alcaldía San Carlos de Guaroa.* Obtenido de Plan de desarrollo territorial: http://www.sancarlosdeguaroa-meta.gov.co/

Angel , M., & Nicholls, C. (2009). *Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas.* Barcelona: Icaria editorial. Obtenido de http://www.socla.co/wp-content/uploads/2014/AltieriandNicholls.pdf

Arcos, I. (2005). *Efecto del ancho los ecosistemas riparios en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras.* Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Banco de Occidente. (2005). *La Orinoquía de Colombia.* Cali, Colombia: Comité Editorial Banco de Occidente. Obtenido de https://www.imeditores.com/banocc/orinoquia/creditos.htm

BITS. (2015). *Bufete de Ingeniería en Telecomunicaciones y Sistemas, S.A. de C.V.* Obtenido de Imágenes de Satelite: http://gpo-bits.com.mx/imagenes_satelite.html

Castro, V. (2010). *Palma de aceite en el departamento del Meta.* Villavicencio: Universidad de los Llanos. Obtenido de http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6559/1/093.pdf

Cely, M. (2015). La explotación de Palma Africana en el municipio de San Carlos de Guaroa. *Guarracuco*, 85-103.

Centro Alexander Von Humboldt. (2011). *"Impacto Ambiental y Social a causa del cultivo de palma africana y la extracción de aceite vegetal en la Región Autónoma del Atlántico Sur (RAAS).* Managua, Nicaragua.

Chuvieco, E. (1990). *Fundamentos de teledetección espacial* (Vol. 1). Madrid.

Conesa, C. (1990). Terrazas aluviales de la rambla del portús (franja costero-meridional de la provincia de Murcia). *Papeles de Geografía, 16*, 35-57.

Consejo Regional de Planificación Económica y Social. (1996). *La Orinoquía Colombiana.* Santafé de Bogotá: Corpes Orinoquía. Obtenido de http://bdigital.unal.edu.co/8248/1/La_Orinoqu%C3%ADa_colombiana_1.pdf

Cuellar, E. (2016). *Informe de sondeo de precios de la fruta fresca y el aceite de la palma aceitera.* Fundación Hondureña de Investigación Agrícola, Solidaridad y WWF. La Lima, Cortes: Centro de Comunicación Agrícola de la FHIA. Recuperado el 2019, de http://www.fhia.org.hn/dowloads/pdfs_palma_aceitera/estudio_de_precios_final.pdf

CVC. (s.f.). *Guía rápida temática para el usuario SIG. Conflicto de uso del suelo.* Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Obtenido de http://www.geo.cvc.gov.co/pdf/ConflictoUso.pdf

DANE & Fedepalma. (2018). *Boletín técnico Encuesta de Empleo Directo Sector Palmero Año 2016.* Bogotá D.C.: DANE & FEDEPALMA. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/agropecuario/sector-palmero/bol-empleo-sector-palmero-2016.pdf

DANE. (2016). *4° Censo Nacional Arrocero.* Bogotá D.C.: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

El Espectador. (3 de Febrero de 2014). Cultivos de palma de aceite amenazan aves en los Llanos. *Agencia de noticias, UniversidadNacional*.

El Tiempo. (28 de Mayo de 2002). La Palma motor económico de San Carlos de Guaroa. *EL TIEMPO*.

ESA. (2018). *Sentinel Online*. Obtenido de ttps://sentinel.esa.int

FAO. (2015). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de http://www.fao.org/soils-2015/blog/la-importancia-de-los-suelos/es/

FAO. (2018). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es

FAO. (2019). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de Servicios ecosistémicos y biodiversidad: http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/background/regulatingservices/es/

Fedearroz. (2008). *III Censo Nacional de Arroceros Zona Llanos Orientales.* Bogotá D.C.: Federación Nacional de Arroceros. Obtenido de http://www.fedearroz.com.co/doc_economia/Censo%20III%20-%20Llanos%2010%20marzo%202008.pdf

Fedearroz. (2019). *Federación Nacional de Arroceros*. Obtenido de Estadísticas arroceras. Series históricas costos: http://www.fedearroz.com.co/new/costos.php

Fedearroz. (2019). *Federación Nacional de Arroceros.* Obtenido de Estadísticas arroceras. Series históricas. Área, producción y rendimiento.: http://www.fedearroz.com.co/new/apr_public.php

Fedegan. (2006). *Plan Estratégico de la Ganadería Colombiana 2019.* Bogotá D.C.: Federación Colombiana de Ganaderos. Obtenido de http://static.fedegan.org.co.s3.amazonaws.com/Ley_1712/01_Informes_de_Gestion_y_Plan_Estrategico/02_Lineamientos_o_Manuales/01_Direccionamiento_y_Planeacion/00_Pega_2019/VERSION_PDF/Pega_2019.pdf

Fedegan. (2016). *Federación Colombiana de Ganaderos*. Obtenido de Estadísticas generales: https://www.fedegan.org.co/estadisticas/general

Fedegan. (2018). *Federación Colombiana de Ganaderos*. Obtenido de Estadísticas. Precios. Precio promedio de ganado gordo en pie Colombia: https://www.fedegan.org.co/estadisticas/precios

Fedegan. (2019). *Federación Colombiana de Ganaderos*. Obtenido de Estadísticas de costos de producción: https://www.fedegan.org.co/estadisticas/costos-produccion

Fedepalma. (2011). *Zona Oriental densidad de empleo en las plantaciones y distribución lugar de trabajo y tamaño del cultivo.* Bogotá D.C.: SISPA & Fedepalma. Obtenido de http://sispaweb.fedepalma.org/sispaweb/default.aspx?Control=Pages/censo2011

Fedepalma. (2012). *Guía de prácticas agrícolas en el cultivo de palma de aceite ya establecido.* Bogotá D.C.: Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite.

Fedepalma. (2013). *La Agroindustria de la Palma de Aceite en Colombia.* Bogotá D.C.: Fedepalma. Obtenido de http://web.fedepalma.org/bigdata/zonaprivada/laagroindustriadelapalmadeaceiteencolombia.pdf

Fedepalma. (2013). *La Agroindustria de la Palma de Aceite en Colombia.* Bogotá D.C.: Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Obtenido de http://web.fedepalma.org/bigdata/zonaprivada/laagroindustriadelapalmadeaceiteencolombia.pdf

Fedepalma. (2018). *Precios Nacionales de los Productos de la Palma de Aceite.* FEDEPALMA & SISPA. Obtenido de http://sispaweb.fedepalma.org/sispaweb/default.aspx?Control=Pages/precios

Florez, G. (2015). ervicios ecosistémicos y variables sociambientales determinantes en ecosistemas de humedales altoandinos. Sector el ocho y paramo de letras Manizales Colombia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 1*, 173-179. Obtenido de http://www.redalyc.org/pdf/2631/263139243024.pdf

Franco, P. (2010). *Contexto y sostenibilidad de la agroindustria de la palma de aceite.* Bogotá D.C.

Garcés, I., & Cuéllar, M. (1997). Productos derivados de la industria de la palma de aceite. Usos. *Palmas, 18*(1), 33-48.

García, H. (2014). Deforestación en Colombia: Retos y perspectivas. *FEDEDESARROLLO*.

GEODIM, S. (2016). *Satélites*. Obtenido de http://www.geodim.es

GFW. (25 de Enero de 2016). *La pérdida de bosques se extiende mucho más allá de los límites de las plantaciones en América del Sur y África*. Obtenido de Global Forest Watch: https://blog.globalforestwatch.org

González, J. (2013). *Panorama de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en la Zona Norte del País: Situación actual, Retos y Perspectivas.* Montería: Fedepalma. Obtenido de http://web.fedepalma.org/bigdata/zonaprivada/panoramadelaagroindustriadelapalmadeaceiteencolombiayenlazonanorte.pdf

González, L., & Romero, A. (2013). *Análisis multitemporal de los cambios de la cobertura de la tierra e incidencia del cultivo de palma en el territorio del municipio de Villanueva Casanare.* Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.

González, M., Galán, E., & Cornejo, J. (1992). *Estudio geológico y valoración del impacto ambiental en el municipio de Alcalá de Guadaira.* Sevilla: Universidad de Sevilla. Obtenido de https://books.google.com.co/books?id=eQWTXEnSgVIC&pg=PA46&dq=geomorfologia&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjvyuiM8cTdAhWpt1kKHRczA8Q4UBDoAQhqMAk#v=onepage&q=geomorfologia&f=false

González, V., & Rial, A. (2011). Las comunidades de morichal en los Llanos Orientales de Colombia, Venezuela y el Delta del Orinoco: impactos de la actividad humana sobre su integridad y funcionamiento. *Biodiversidad de la cuenca del Orinoco. II. Áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible*, 125-146. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/281572381_Las_comunidades_de_morichal_en_los_Llanos_Orientales_de_Colombia_Venezuela_y_el_Delta_del_Orinoco_impactos_de_la_actividad_humana_sobre_su_integridad_y_funcionamiento

Hernández, O. (2012). *Análisis multitemporal de la cobertura vegetal del municipio del Distrito Central, años 1987 Y 2006.* Tegucigalpa, M.D.C: Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

Hernández, Y. (2010). El ordenamiento territorial y su construcción social en Colombia: ¿un instrumento para el desarrollo sustentable? *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*(19), 97-109. Obtenido de https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/16854/36692

HREV. (2004). *El Cultivo de Palma Africana en el Chocó. Legalidad ambiental, territorial y derechos humanos.* Quibdó: Human Rights Everywhere.

Ian E, H. (2004). ¿Puede la palma de aceite sustituir el bosque húmedo tropical? . *PALMAS*, 95-105.

IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Coer adaptada para Colombia escala 1:100.000.* Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IDEAM. (2011). *Formato Común Hoja Meteorológica, Brillo Solar.* Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125581/41-90+HM+Brillo+solar+3+FI.pdf/9e3a2479-6c7c-445c-adae-ff72bfd1fa97

IDEAM. (2012). *Promedios Mensuales de Brillo Solar para todas las Estaciones del País.* Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/6.Anexo_Promedios-mensuales-de-brillo-solar.pdf

IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del Agua.* Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IDEAM. (2014). *Zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas e Hidrogeológicas de Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022655/MEMORIASMAPAZONIFICACIONHIDROGRAFICA.pdf

IDEAM. (2018). *Resultados monitoreo de la deforestación 2017*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/24277/72115631/Actualizacion_cifras2017+FINAL.pdf/40bc4bb3-370c-4639-91ee-e4c6cea97a07

IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP. (2007). *Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia*. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neumann.

IDEAM; Sinchi; IAvH; IGAC; UAESPNN. (2010). *LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA - Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia.* Bogotá.

IGAC. (2004). Capítulo VI Capacidad de Uso de las Tierras. En I. G. Codazzi, *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del departamento del Meta*. Bogotá D.C., Meta, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

IGAC. (2004). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras: departamento del Meta*. Bogotá D.C.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

IGAC. (2004). *Leyenda del Estudio General de suelos del Departamento del Meta*. Bogotá D.C.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

IGAC. (2009). Capítulo 6. Clasificación de las tierras por capacidad de uso. En I. G. Codazzi, *Estudio de suelos del departamento de Córdoba* (pág. 30). Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

IGAC. (2016). Mapa de suelos de Colombia (escala 1:500.000). *Mapa de suelos de Colombia (escala 1:500.000)*. Bogotá D.C., Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

IGAC. (2016). *Suelos y Tierras de Colombia* (Vol. Tomo I y Tomo II). Bogotá D.C., Colombia: nstituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección de Agrología.

IGAG. (2012). *Conflictos de uso del territorio colombiano*. Bogotá D.C.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

ILCE. (2019). *Biblioteca digital ILCE México*. Obtenido de Biblioteca digital ILCE México. Procesamiento digital de imágenes: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/084/htm/sec_9.htm

IndexMundi. (06 de 06 de 2019). *IndexMundi*. Obtenido de Aceite de palma precio mensual en dólares americanos por tonelada métrica: https://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=aceite-de-palma

INEGI. (2012). *ASPECTOS TÉCNICOS DE LAS IMÁGENES.* Obtenido de INEGI. Dirección General de Geografía y Medio Ambiente: http://www.inegi.org.mx

INGEOMINAS & Universidad Nacional de Colombia. (2011). *Caracterización de depósitos aluviales con manifestaciones de tantalio y niobio en las comunidades indígenas de Matraca y Caranacoa, departamento del Guainía.* Bogotá D.C.: INGEOMINAS & UN. Obtenido de http://www.docentes.unal.edu.co/thcramer/docs/Ingeominas%20Ta%20Nb%20Informe%20final%20edicion%201.pdf

Instituto Interamericano de Cooperación Para la Agricultura. (2006). *Cultivo de la Palma Africana. Guía Técnica.* Managua.

Iriondo, M. (1993). *Introducción a la geología* (Vol. 3). Córdoba, Argentina: Editorial Brujas. Obtenido de https://books.google.com.co/books?id=4i1_97TIlyoC&pg=PA57&dq=geologia&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwimnsen3cTdAhWQ21MKHSrnB4wQ6AEIQDAE#v=onepage&q=geologia&f=false

Junguito, R., Perfetti, J., & Becerra, A. (2014). *Desarrollo de la agricultura colombiana*. Fedesarrollo. Obtenido de

https://repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/151/CDF_No_48_Marzo_2014.pdf?sequence=3&isAllowed=y

La República. (02 de 04 de 2018). *La República*. Obtenido de https://www.larepublica.co/economia/mas-de-900-municipios-tienen-su-plan-de-ordenamiento-territorial-vencido-2707191

López, E. (2013). *Composición y estructura de la comunidad de peces y sus relaciones con la calidad de la vegetación riparia y algunas variables ambientales en dos ríos de Bosque Seco Tropical (Bs-T), Tolima (Colombia)*. Ibagué: Universidad del Tolima. Obtenido de http://repository.ut.edu.co/bitstream/001/1456/1/RIUT-AEA-spa-2013-Composici%C3%B3n%20y%20estructura%20de%20la%20comunidad%20de%20peces%20y%20sus%20relaciones%20con%20la%20calidad%20de%20la%20vegetaci%C3%B3n%20riparia.pdf

MADR & UPRA. (2018). *Identificación general de la frontera agrícola en Colombia.* Bogotá D.C.: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria. Obtenido de https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Projects_Documents/IDENTIFICACION%20GENERAL%20DE%20LA%20FRONTERA%20.pdf

Madridejos, A. (06 de Abril de 2017). El aceite de palma es una de las principales causas de deforestación del planeta. *El periódico*.

MADS, & IDEAM. (2011). *Análisis de tendencias y patrones espaciales de deforestación en Colombia.* BOGOTÁ D.C.

Martínez, L., & Ruíz, L. (2016). *Análisis de la pérdida de cobertura vegetal a partir de un estudio multitemporal 2007-2013 en el Parque Nacional Natural Alto Fragua Indi Wasi.* Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Meli, P., Ruíz, L., & Carabias, J. (2014). *La vegetación riparia.* Revista Natura.

Méndez, W., González, Z., Suárez, J., Arauno, M., Vlelma, M., & Maiz, H. (2016). Geomorfología de los abanicos aluviales del piedemonte norte del macizo El Ávila, estado Vargas, Venezuela. *Revista de Investigación, 40*(87), 95-128. Obtenido de http://www.redalyc.org/pdf/3761/376146819006.pdf

Mingorance, F., Minelli, F., & Le Du, H. (2004). *EL CULTIVO DE LA PALMA AFRICANA EN EL CHOCÓ, Legalidad Ambiental, Territorial y Derechos Humanos.* Quibdó: Dioscesis de Quibdó.

Montaño, N. (2008). La palma africana en el pacífico colombiano: su ilegalidad, consecuencias y violación de derechos territoriales. *Luna Azul, 27*, 113-126. Obtenido de http://www.redalyc.org/html/3217/321727229010/

Montenegro, L. (07 de 01 de 2013). *Naturaleza y buen vivir*. Obtenido de Avance de la frontera agrícola: http://notinaturaleza.blogspot.com/2013/01/avance-de-la-frontera-agricola.html

Mosquera, M., & García, E. (2005). Impacto social de la agroindustria de palma de aceite. *Palmas, 26*(2), 11-19. Obtenido de https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1129/1129

Mosquera, M., Valderrama, M., Ruíz, E., López, D., Castro, L., Fontanilla, C., & González, M. (2017). Costos de producción para el fruto de palma de aceite y el aceite de palma en 2015: estimación en un grupo de productores colombinos. *Palmas, 38*(2), 11-27. Obtenido de http://web.fedepalma.org/media/01-Palmas-38-2-2017_VF_sin_marcas.pdf

Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales. (2001). *El amargo fruto de la palma aceitera: despojo y deforestación.* Montevideo, Uruguay: Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales. Obtenido de https://wrm.org.uy/es/files/2013/04/El_amargo_fruto_de_la_palma_aceitera.pdf

Mujica, C., Torres, E., & Vargas, M. (2010). *Evolución del Sector Palmicultor.* Bucaramanga: Universidad de Investigación y Desarrollo. Obtenido de http://www.udi.edu.co/images/investigaciones/publicaciones/libros/porter/08/Libro-EvoluciondelSectorPalmicultor.pdf

Naiman, R., Décamps, H., & McClain, M. (2005). *Riparia Ecology, Conservation and Management of Streamside Communities.* Londres: Elsevier Academic Press.

OAS. (2019). *Organization of American States*. Obtenido de Clasificación de los suelos según su capacidad de uso: https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea30s/ch028.htm

Ortíz, R., & Fernández, O. (2000). *El cultivo de la palma aceitera.* San José, Costa Rica: EUNED. Obtenido de

https://books.google.com.co/books?id=xZkO8yiPgf0C&printsec=frontcover&dq=caracteristicas+de+la+palma+de+aceite+pdf&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjt9OTS29fgAhXrzVkKHR-XAnUQ6AEITjAH#v=onepage&q&f=false

Pabón, L., Bezaury, J., Leon, F., Gill, L., Stolton, S., Groves, A., . . . Dudley, N. (2008). *Valorando la naturaleza: Beneficios de las áreas protegidas.* The Nature Conservancy. Obtenido de https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/1/35691/Valorandolanaturaleza.pdf

Quijas, S., Schmid, B., & Balvanera, P. (2010). Plant diversity enhances provision of ecosystem services: a new synthesis. *Basic and Applied Ecology*, 582-593.

Ramos, A. (2013). *Impacto de los Biocombustibles sobre el Desarrollo Humano.* ONGAWA. doi:https://ongawa.org/wp-content/uploads/2013/07/Art-biocombustibles_2011.pdf

Ramsar. (2014). *La importancia de los humedales.* Suiza: The Ramsar Convention Secretariat. Obtenido de https://www.ramsar.org/es/acerca-de/la-importancia-de-los-humedales

Rojas, J. (2016). *Transformaciones ambientales generadas por la expansión del cultivo de palma de aceite (Elaeis guineensis) en el departamento del Meta.* Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia.

Salas, J., & Valenzuela, J. (2011). *Determinación de los conflictos de uso del suelo en la microcuenca Panchindo, municipio de la Florida, departamento de Nariño.* San Juan de Pasto: Universidad de Nariño. Obtenido de http://sired.udenar.edu.co/3997/1/85051.pdf

Salizzi, E. (2012). *Transformaciones espaciales y frontera agrícola: elementos para el abordaje de la expansión del modelo productivo pampeano.* VII Jornadas de Sociología de la Universidad Nacional de La Plata. "Argentina en el escenario latinoamericano actual: debates desde las ciencias sociales" (La Plata), La Plata. Obtenido de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/31038/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Santana, A. (2014). *Costos modales en la ganadería colombiana.* Bogotá D.C.: FEDEGAN & SENA. Obtenido de http://www.cnl.org.co/wp-content/files/Costos_modales_leche_FEDEGAN.pdf

Secretaría de la Convención RAMSAR. (2010). *El manejo de las aguas subterráneas: lineamientos para el manejo de las aguas subterráneas a fin de mantener las características ecológicas de los humedales.* Gland: Secretaría de la Convención RAMSAR. Obtenido de https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/hbk4-11sp.pdf

Servicio Geológico Colombiano. (2015). *Mapa Geológico de Colombia.* Bogotá D.C., Colombia: Servicio Geológico Colombiano. Obtenido de https://www2.sgc.gov.co/ProgramasDeInvestigacion/Geociencias/Paginas/MapaGeologico.aspx

SISPA & Fedepalma. (1997). *Censo Nacional de Palma de Aceite.* Obtenido de http://sispa.fedepalma.org/sispaweb/default.aspx?Control=Pages/censo97

Survey, D. d. (25 de Abril de 2018). *Misiones Landsat*. Obtenido de https://landsat.usgs.gov

Torres, M., Parada, S., Bustamante, X., Villar, O., Ariza, L., Tiuso, H., . . . Rodríguez, J. (2015). *La gente de la cuenca del río Guayuriba*. Universidad de los Llanos, Ecopetrol S.A., instituto de Ciencias Ambientales de la Orinoquía Colombiana. Villavicencio: Ediprint.

UGRA. (2018). *Ficha de inteligencia cultivo de arroz.* Unidad de Gestión de Riesgos Agropecuarios & FINAGRO. Obtenido de https://www.finagro.com.co/sites/default/files/node/basic-page/files/ficha_arroz_version_ii.pdf

University of Marylando, IAVH, Fundación Omacha & WWF. (2016). *Reporte de salud río Meta.* University of Maryland, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Fundación Omacha & WWF.

UPRA. (2014). *Planificación del ordenamiento productivo y social de la propiedad.* Bogotá D.C.: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria. Obtenido de https://www.finagro.com.co/sites/default/files/upra_ordenamiento_productivo.pdf

USGS. (2018). *United States Geological Survey*. Obtenido de GloVis: https://glovis.usgs.gov/

Victorino, A. (2012). *Bosques para las personas: Memorias del Año Internacional de los Bosques 2011.* Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recurso Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio de Ambiente y. Obtenido de

http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/31369/230.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vijay, V., Stuart L, P., Clinton N, J., & Sharon, S. (27 de Julio de 2017). The Impacts of Oil Palm on Recent Deforestation and Biodiversity Loss. (U. o. Madhur Anand, Ed.) *PLOS ONE*.

Villalaz. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones.* Ciudad de México, México: Editorial Limusa S.A. de C.V. Obtenido de https://books.google.com.co/books?id=Db2SQbBHVPQC&pg=PA18&dq=suelo+definicion&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi_5duRhMXdAhVtoFkKHTTkBoIQ6AEIKDAA#v=onepage&q&f=false

Viloria, J. (2003). *La ganadería bovina en las llanuras del Caribe colombiano.* Cartagena de Indias: Banco de la República. Obtenido de http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/DTSER-40.pdf

Zuleta Montoya, E. (2012). ASPECTOS BASICOS DE CREACION Y MANEJO DE PLANTACIONES DE PALMA DE ACEITE. *PALMASS- FEDEPALMA*.