RIDAA
Repositorio Institucional
Digital de Acceso Abierto de la
Universidad Nacional de Quilmes

Universidad
Nacional
de Quilmes

Hincapié Granada, Herman Leandro

Efectos ambientales (deforestación y calidad del agua) de la expansión del cultivo intensivo de aguacate en las veredas las cabañas y campo alegre del municipio de Apia Risaralda (Colombia).

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Argentina.
Atribución - No Comercial - Sin Obra Derivada 2.5
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/

Documento descargado de RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes de la Universidad Nacional de Quilmes

Cita recomendada:
Hincapié Granada, H. L. (2008). Efectos ambientales (deforestación y calidad del agua) de la expansión del cultivo intensivo de aguacate en las veredas las cabañas y campo alegre del municipio de Apia Risaralda (Colombia). (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Quilmes, Bernal, Argentina. Disponible en RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/4782

Puede encontrar éste y otros documentos en: https://ridaa.unq.edu.ar

Universidad Nacional de Quilmes
Roque Sáenz Peña 352 // Bernal
Buenos Aires // Argentina
t.: (+41 11) 4365 7100
f.: (+54 11) 4365 7101
info@unq.edu.ar

Herman Leandro Hincapié Granada, Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto,
Septiembre de 2024, pp. 89,
http://ridaa.unq.edu.ar,
Universidad Nacional de Quilmes, Secretaría de Posgrado,
Maestría en Ambiente y Desarrollo Sustentable

Efectos ambientales (deforestación y calidad del agua) de la expansión del cultivo intensivo de aguacate en las veredas las cabañas y campo alegre del municipio de Apia Risaralda (Colombia).

TESIS DE MAESTRÍA

Herman Leandro Hincapié Granada

hincapie83@hotmail.com

Resumen

El cultivo de aguacate viene creciendo dentro del mapa agropecuario del municipio de Apía, hasta el punto de convertirse en el segundo renglón productivo, así lo expresa la evaluación agropecuaria municipal que revela un crecimiento exponencial en las áreas sembradas, pasando de 71 Ha en 2012 a 1019 Ha en 2021. (EVA, 2021).

Apía es un pueblo colombiano del departamento de Risaralda, enmarcado en la declaratoria de paisaje cultural cafetero. Su topografía es quebrada y su vocación económica, así como su cultura giran en torno a la caficultura.

Esta situación conlleva a una drástica transformación ambiental que no ha sido estudiada a fondo en el territorio, a pesar de las marcadas necesidades de la población en torno a sus recursos naturales.

Con el modelo de producción intensiva de aguacate se incrementan las prácticas de manejo inapropiadas como la máxima labranza y degradación del suelo, deforestación y uso excesivo de agroquímicos. Estas acciones impactan de manera directa y general en aspectos medioambientales. Reyes y Dominga (2022) identifican los sistemas agrícolas intensivos y el calentamiento global como los principales factores con incidencia en la pérdida de biodiversidad en el planeta.

Por tanto, el objeto de este trabajo es estudiar aspectos con incidencia en la deforestación y la afectación en la calidad de agua por causa del cultivo intensivo de aguacate en las veredas las Cabañas y Campo Alegre del municipio de Apía Risaralda. Para esto, se realizará un análisis de patrones con imágenes satelitales sobre los bosques que componen dicho territorio, con recuadros superpuestos de manera cronológica en el sitio. Así mismo, se realizarán análisis a muestras de agua para identificar variables como la temperatura, el

potencial de hidrógeno (pH), la conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos (STD), potencial de oxidación y reducción (POR) y oxígeno disuelto (OD).
Entre los resultados, se espera identificar la frecuencia del uso del suelo en la zona como posible indicador de deforestación a causa del cultivo de aguacate y su patrón de crecimiento, así como la afectación en la calidad del agua a razón de la demanda de oxígeno y la presencia de agroquímicos, en relación con las prácticas intensivas del cultivo.
En términos prácticos, esto puede aportar al desarrollo de estrategias que permitan determinar de una manera más precisa las áreas de retiro entre el cultivo y los afluentes hídricos, así como áreas boscosas para su conservación.
Palabras clave: Deforestación, contaminación, agricultura intensiva, calidad de agua, efectos ambientales, cultivo de aguacate.

Abstract

The cultivation of avocado has been growing within the agricultural map of the municipality of Apía, to the point of becoming the second productive line, as expressed by the municipal agricultural evaluation that reveals an exponential growth in the planted areas, going from 71 Ha in 2012 to 1019 Ha in 2021. (EVA, 2021)
Apía is a Colombian town in the department of Risaralda, framed in the declaration of coffee cultural landscape. Its topography is broken and its economic vocation, as well as its culture, revolve around coffee growing.
This situation leads to a drastic environmental transformation, which has not been studied in depth in the territory, despite the marked needs of the population regarding its natural resources.
With the intensive avocado production model, inappropriate management practices such as maximum tillage and soil degradation, deforestation and excessive use of agrochemicals increase. These actions have a direct and general impact on environmental aspects. Reyes y Dominga (2022) identify intensive agricultural systems and global warming as the main factors influencing the loss of biodiversity on the planet.
Therefore, the purpose of this work is to study aspects with an impact on deforestation and the impact on water quality due to the intensive cultivation of avocado in the paths, Las Cabañas and Campo Alegre of the municipality of Apía Risaralda. For this, a pattern analysis will be carried out with satellite images of the forests that make up said territory, with boxes superimposed chronologically on the site. Likewise, analyzes will be carried out on water samples to identify variables such as temperature, hydrogen potential (pH), electrical conductivity, total dissolved solids (STD), oxidation and reduction potential (POR) and dissolved oxygen (DO).
Among the results, it is expected to identify the frequency of land use in the area as a possible indicator of deforestation due to avocado cultivation and its growth pattern, as well as the

Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto, Universidad Nacional de Quilmes

impact on water quality due to the demand for oxygen and the presence of agrochemicals, in relation to intensive cultivation practices.
In practical terms, this can contribute to the development of strategies that allow more precise determination of the withdrawal areas between crops and water tributaries, as well as forested areas for their conservation.
Keywords: Deforestation, pollution, intensive agriculture, water quality, environmental effects, avocado cultivation.

Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto, Universidad Nacional de Quilmes

Universidad Nacional de Quilmes

Maestría en Ambiente y Desarrollo Sustentable

EFECTOS AMBIENTALES (DEFORESTACIÓN Y CALIDAD DEL AGUA) DE LA EXPANSIÓN DEL CULTIVO INTENSIVO DE AGUACATE EN LAS VEREDAS LAS CABAÑAS Y CAMPO ALEGRE DEL MUNICIPIO DE APIA RISARALDA (COLOMBIA).

Herman Leandro Hincapié Granada

Tesis para obtener el título de:

Magister en Ambiente y Desarrollo Sustentable

Directora de tesis:

Martha Viviana Zuluaga Rojas

Codirectora:

Alejandra Lorena Belizan

Colombia, abril de 2024

Agradecimientos

Es necesario expresar mi sentir de gratitud al gran creador, fuente de esperanza y deseo supremo que motiva mi evolución como persona, con la gran convicción de entregar cada esfuerzo hacia la protección de nuestro planeta, nuestra sociedad y construcción de un mundo mejor para las futuras generaciones.

Agradezco a las instituciones que hicieron posible la realización del trabajo presentado en esta memoria de tesis, en primer lugar, a la Universidad Nacional de Quilmes UNQ, Alma Mater que gestó conocimiento en el grato camino de formación académica, a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, por su colaboración en el uso de instrumentos y equipos dentro de esta investigación.

A las doctoras Martha Viviana Zuluaga Rojas y Alejandra Lorena Belizan, quienes desde sus roles de directora y codirectora brindaron un apoyo permanente e incondicional, gracias por sus sabias orientaciones y por su paciencia. Su guía constante y su experiencia lograron desarrollar en mí, habilidades que no imaginé en el contexto investigativo.

Gracias infinitas a mis padres, su amor y su apoyo moral siempre serán las bases sobre las que soporto cada uno de mis logros. También debo expresar gratitud a mi esposa, compañera de vida quien supo entender mis ausencias obligadas mientras atendía exigencia académica, ella la “Luz” que orientó el camino en cada momento difícil; y por su puesto mis hijos Matías y Maximiliano, quienes motivan y alimentan el deseo de superarme y ser mejor.

Abreviaturas/Siglas

BMR: Bosque Modelo de Risaralda

CARDER: Corporación Autónoma Regional de Risaralda

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística

DMI: Distrito de Manejo Integrado

DQO: Demanda Química de Oxígeno

EOT: Esquema de Ordenamiento Territorial

EVA: Evaluación agropecuaria municipal (Estadística anual del sector)

ICA: Instituto Colombiano Agropecuario

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

OD: Oxígeno Disuelto

OMS: Organización Mundial de la Salud

POR: Potencial Redox o de Oxido Reducción

PNN: Parque Nacional Natural

RAS: Reglamento técnico para el sector agua potable y saneamiento

SIAE: Sistema de Información Ambiental y Estadística

SIG: Sistemas de Información Geográfica

STD: Sólidos Totales Disueltos

INDICE

INDICE DE IMÁGENES ..... мл
INTRODUCCIÓN ..... мм
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA ..... мс
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN ..... мт
Objetivo general: ..... мт
Objetivos específicos: ..... мт
METODOLOGÍA ..... мт
Capítulo 1 ..... нм
Conformación de bosques en el departamento de Risaralda y municipio de Apía ..... нм
Distrito de manejo integrado Cuchilla de San Juan ..... ну
Relación entre la frontera agrícola y la disminución en las áreas de bosque ..... ом
Los sistemas de información geográfica y su implementación en el uso y ocupación del suelo ..... оп
Aguacate Hass y su cercanía al área protegida “Cuchilla de San Juan” ..... от
Descripción del método implementado para la recolección de información en el análisis del uso del suelo entre los años 2011 y 2016 ..... оф
Resultados y discusión del análisis en el uso del suelo entre los años 2011 y 2016 пм
Capítulo 2 ..... пп
Características de la alta montaña en el municipio de Apía y su importancia para la hidrografía de la región. ..... пп
Afectación en la calidad del agua a causa del uso de agroquímicos ..... пу
Descripción del método implementado para la recolección de muestras de agua y su respectivo análisis. ..... рн
Resultados del análisis de calidad del agua en las veredas Las Cabañas y Campo Alegre del municipio de Apía Risaralda (Colombia). ..... рт
Discusión de resultados para análisis de agua ..... рф
Potencial de Hidrógeno (PH) ..... сл
Potencial Redox (POR) ..... сп
Oxígeno Disuelto OD ..... сс
Conductividad ..... сф
Temperatura ..... тм
Solidos Totales Disueltos STD ..... тм
Método KIT Freshwater Master Test ..... тн
Capítulo 3 ..... то

Uso del suelo y ordenamiento territorial frente a la expansión del cultivo de aguacate en las veredas Las Cabañas y Campo Alegre ..... то

Conclusiones ..... тт

BIBLIOGRAFÍA ..... ун

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ecosistemas del departamento de Risaralda 21
Tabla 2. Clasificación de estructuras ecológicas 26
Tabla 3. Cobertura general de la tierra 2020 27
Tabla 4. Resultados análisis de agua vereda Campo Alegre con método multiparámetro en el mes de julio 2023 57
Tabla 5. Resultados análisis de agua vereda Campo Alegre con método multiparámetro en el mes de febrero 2024 57
Tabla 6. Resultados análisis de agua vereda Campo Alegre con método KIT Freshwater Master Test, mes de julio 2023 58
Tabla 7. Resultados análisis de agua vereda Campo Alegre con método KIT Freshwater Master Test, mes de febrero 2024 58
Tabla 8. Resultados análisis de agua vereda Las Cabañas con método multiparámetro, mes de julio 2023 58
Tabla 9. Resultados análisis de agua vereda Las Cabañas con método multiparámetro, mes de febrero 2024 58
Tabla 10. Resultados análisis de agua vereda Las cabañas con método KIT Freshwater Master Test, mes de julio 2023 59
Tabla 11. Resultados análisis de agua vereda Las cabañas con método KIT Freshwater Master Test, mes de febrero 2024 59
Tabla 12. Resultados y rangos permitidos para el parámetro PH 60
Tabla 13. Resultados y rangos permitidos para el parámetro ORP 65
Tabla 14. Resultados y rangos permitidos para el parámetro OD 67
Tabla 15. Resultado y rangos permitidos para el parámetro Conductividad 70

INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Coberturas del suelo en el municipio de Apía нр
Imagen 2. Localización del DMI Cuchilla de San Juan нф
Imagen 3. Frecuencia del uso del suelo 2011 vs 2016 пм
Imagen 4. Mapa de cuencas y acueductos del municipio de Apía пс
Imagen 5. Procesamiento de muestras en laboratorio рп
Imagen 6. Recolección de muestras en campo рс

INTRODUCCIÓN

El aguacate o palta cuyo nombre científico es Persea americana Mill, es una especie arbórea del género Persea perteneciente a la familia Lauraceae, su fruto es una baya comestible. Los miembros de esta familia han sido utilizados como alimento y condimento; con fines medicinales, cosméticos e industriales, así como con propósitos ornamentales y para la extracción de madera (Scora *et al.,* 2007).

Esta especie es de origen americano, su distribución natural va desde México hasta Perú, pasando por Centro América, Colombia, Venezuela y Ecuador (Téliz, 2000). La oferta ambiental para la implementación de su cultivo es amplia según la variedad de la especie, pero en general las condiciones tropicales son óptimas dado su desarrollo originario.

En Colombia, el cultivo de aguacate de manera intensiva tiene pocos años, presentando un importante crecimiento en su expansión de siembras y exportación de producto en la última década. En los últimos 5 años la producción de aguacate creció 89%, como efecto combinado entre el aumento en el área cosechada (62%) y el rendimiento (17%). (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, [Minagricultura], 2020, p.7).

El aumento del cultivo también se traslada al plano regional y municipal, el departamento de Risaralda, uno de los más pequeños en extensión del país, ocupa el segundo puesto en exportación de aguacate dentro del ranquin de departamentos productores de la fruta. “Durante el año 2019, el departamento de Antioquia ha entregado el 49% de la fruta exportada, seguido Risaralda y Valle del Cauca con el 30% y 7%, respectivamente.” (Minagricultura, 2020, p.14).

El Municipio de Apía, se encuentra ubicado en la Cordillera Occidental de los Andes, con un relieve montañoso, ocupando 214 kilómetros cuadrados, a una altura promedio de 1.630 metros sobre el nivel del mar, lo que motiva una temperatura promedio de 19 grados centígrados.

En la región donde se ubica el municipio de Apía aparece una gran variedad de climas de tipo altitudinal, sujetos fundamentalmente al sistema de circulación valle-montaña. Para el caso específico de la cuenca del río Apía, la

circulación se da entre el valle del río Risaralda -sin influencia directa- generador de vientos cálidos y de masas de aire frío provenientes de los accidentes orográficos de la zona alta, donde se destacan el Parque Natural Nacional Tatamá, el cerro de Caramanta y la Cuchilla de San Juan (CARDER, 2001).

En general el territorio del municipio tiene una fuerte influencia de reservas naturales del orden nacional y departamental, que revisten gran importancia para garantizar la estabilidad de ecosistemas y la oferta hídrica de poblaciones aledañas.

Las características agrológicas y ambientales del territorio apiano, han sido atractivas para inversionistas nacionales y extranjeros que implementan sistemas intensivos de producción de aguacate, principalmente en zonas altas, limítrofes con reservas naturales y bosques de montaña. Este proceso se viene dando de manera gradual y se intensifica en la última década.

Las cifras presentadas por la Evaluación Agropecuaria del municipio de Apía “EVA”, registran un incremento en las áreas destinadas al cultivo de aguacate, pasando de 71 Ha sembradas 2012 a 1019 Ha en 2021. Según EVA (2021), [1]de las 1019 Ha, 981 Ha corresponden a la variedad Hass, que se intensifica en zonas altas, con cercanía a bosques, característica dominante en las veredas las Cabañas y Campo Alegre. La evaluación reporta un total de 131 predios con cultivo de esta variedad, para un total de 915 Ha en producción y 66 Ha en desarrollo, con un rendimiento de 9 Tn/Ha/año, para una producción anual promedio de 8235 Toneladas.

Este incremento en las áreas sembradas y la intensificación del cultivo, que demanda grandes cantidades de agroquímicos, se focaliza en la zona alta de las montañas, arriba de 1800 msnm, dejando abiertas las posibilidades para infiltrar residuos de estos en el suelo hasta el nivel freático, afectando la calidad del agua, además de generar una importante deforestación a raíz de la ampliación de la frontera agrícola.

---

[1] [illegible]

La ecorregión eje cafetero, donde se encuentra el municipio de Apía, está siendo afectada por la transformación y fragmentación de ecosistemas tras la ocupación de zonas de riesgo, áreas protegidas y contaminación de fuentes hídricas (Uribe, 2009).

En la categorización de bosques de la zona, se pueden encontrar bosque denso, de galería, riparios, fragmentado y de guadua (Guadua agustifolia), todos con aparente afectación por la intensificación agrícola. En el eje cafetero existen aproximadamente 28000 especímenes de guadua, tanto en plantaciones como en bosques naturales, esto equivale al 10% de todos los guaduales que existen en Colombia (Castellanos y Bonilla 2011).

La agricultura intensiva en los sectores de alta montaña en el territorio, solo se ha presentado históricamente en pequeñas parcelas de cultivos de clima frio como mora, granadilla, lulo y tomate de árbol, todos cultivos transitorios. EVA (2021) reporta una drástica reducción de cultivos transitorios de clima frío y fuerte expansión de aguacate hass, en transición de agricultura familiar a producción intensificada.

De manera general, la ocupación y uso del suelo rural en el municipio de Apía viene transformándose de manera acelerada, así lo demuestran las últimas estadísticas de la evaluación agropecuaria municipal. La problemática se presenta con mayor intensidad en las zonas altas, es por esto que en el presente trabajo se pretende hacer un análisis en el comportamiento de las áreas de bosque de la franja correspondiente al distrito de manejo integrado “Cuchilla de San Juan”, de la que hace parte la vereda Las Cabañas y en la que presenta fuerte influencia la vereda Campo Alegre. Para ello, se realiza estudio de imágenes satelitales y áreas identificadas entre el 2011 y 2016, a través de los usos de suelo publicados por la Corporación Autónoma Regional CARDER, usando como herramienta de trabajo el software libre para el sistema de información geográfica QGIS.

El incremento de las actividades humanas para la producción de alimentos y uso de materias primas para suplir las necesidades de los mercados regionales y locales, han ocasionado la conversión de las coberturas vegetales originales, en paisajes altamente transformados (Rotem, Ziv, & Bouskila, 2013).

Estas transformaciones en el caso del municipio de Apía, no logran precisarse de manera concreta, por lo que es necesario identificar las posibles pérdidas de cobertura boscosa que pudieran propiciar afectaciones directas sobre los ecosistemas y el recurso hídrico, además de lo que significa involucrar un área protegida de carácter departamental.

Además, esta situación representa un uso inapropiado del suelo. Las veredas que limitan la zona protectora (Cuchilla de San Juan) representan una condición especial en el Esquema de Ordenamiento del municipio de Apía. En Colombia los Planes y Esquemas de ordenamiento territorial, se amparan en una ley de la república, la ley 388 de 1997, por lo cual, lo que allí se ordena debe cumplirse por obligatoriedad.

El decreto 031 del 2000, Esquema de Ordenamiento Territorial [EOT] de Apía, define zona forestal protectora productora, como “aquella que debe ser conservada permanentemente con bosques naturales o plantados, para proteger los recursos naturales renovables que pueden ser objeto de actividades de producción sostenible, sin perder su función protectora” (art.14). Esto implica la no consolidación de sistemas intensivos, al primar la función protectora.

Dentro del área considerada como zona forestal protectora productora, el EOT describe: “Se localiza en las principales microcuencas abastecedoras de acueductos urbanos y rurales, en las veredas Agua Linda, Las Cumbres, Alta Campana, La Garrucha, La Nubia, Campo Alegre, Alta Estrella, Las Cabañas, Guarne, San Andrés y Dosquebradas. Se encuentran cubiertas principalmente por bosques nativos, y rastrojos asociados con plantaciones forestales y pastizales. Su productividad se relaciona con la biodiversidad y la función reguladora de recurso hídrico.” (Esquema de Ordenamiento Territorial [EOT], 2000, Artículo 14).

Las veredas Las Cabañas y Campo Alegre, objeto del presente estudio, hacen parte de tal condición especial en el uso del suelo rural según el EOT y por ende se reglamenta en una ley de la república.

Los procesos negativos de cambio de uso del suelo y vegetación han sido documentados como el segundo problema ambiental a nivel global (Xiao *et al.*, 2006), es por esto que la confrontación del uso y ocupación del suelo, mediante

sistemas de información geográfica, son una alternativa válida para verificar la expansión de la frontera agrícola.

El concepto de agricultura extensiva se focaliza en ampliar la superficie cultivada a gran escala, generalmente en monocultivo, ocupando espacios para mejorar rendimiento (Norzagaray *et al*, 2010); mientras la agricultura intensiva por su parte; se presenta como una forma de alta explotación tecnificada con el uso de insumos y productos que potencian la producción de una manera direccionada (Reigada *et al*, 2017); tal es el caso del cultivo de aguacate en el municipio de Apía, que usa grandes extensiones de tierra mediante modelos intensivos en los que se emplean altas cantidades de agroquímicos.

Frente a los antecedentes de investigaciones de este tipo, es necesario recalcar que en Colombia no existen muchos estudios relacionados, debido a que la expansión del cultivo de aguacate es relativamente reciente, mientras que los trabajos encontrados en relación al tema, se ubican en gran parte en México, país que ha experimentado la intensificación de cultivo por varias décadas.

Entre estos trabajos podemos encontrar a Burgos (2011) que ubica el cultivo de aguacate con una alta demanda de pesticidas para el control fitosanitario del producto, siendo los de tipo sintético los más utilizados. El autor resalta que los pesticidas sintéticos contienen o son aplicados con disolventes y adyuvantes con un cierto nivel de toxicidad, que en ocasiones es superior al del componente activo.

Los efectos del uso de estas sustancias, se pueden notar en el deterioro de la salud humana y el daño directo a los ecosistemas. Los modelos de aplicación en el cultivo facilitan su dispersión al ambiente. En el uso de pesticidas las partículas tóxicas son suspendidas en el aire, llevadas a través del viento a diferentes zonas logrando contaminarlas, causando graves daños a la vida animal, vegetal y a los recursos naturales (Álvarez, 2019).

En el presente trabajo, se realiza un análisis de calidad de agua en las veredas Las Cabañas, y Campo Alegre, con muestreos tomados en puntos estratégicos de fuentes de agua cercanas a cultivos establecidos de aguacate en cada una de estas veredas, para posteriormente hacer el respectivo estudio con el equipo de análisis multiparamétrico (Hanna HI98194) en la Universidad

Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Este dispositivo es un medidor multiparámetro resistente e impermeable que mide hasta 12 parámetros clave en la calidad del agua. La potente capacidad de registro y la sonda digital hacen de este multímetro una gran herramienta, además, permite la medición de variables como la Temperatura, el pH, la conductividad eléctrica, STD, POR y oxígeno disuelto (OD).

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Según la Evaluación agropecuaria municipal EVA (2021), de las 1019 Ha sembradas en aguacate en el municipio de Apía, 981 Ha corresponden a la variedad Hass que se intensifica en zonas altas, con cercanía a bosques, característica dominante en las veredas las Cabañas y Campo Alegre. El informe reporta un total de 131 predios con cultivo de esta variedad, para un total de 915 Ha en producción y 66 Ha en desarrollo, con un rendimiento de 9 Tn/Ha/año, para una producción anual promedio de 8235 Toneladas.

Tal situación genera la interrogante ¿Qué efectos conlleva el cultivo extensivo e intensivo de aguacate en términos de deforestación y calidad del agua, sobre el territorio determinado como las veredas las Cabañas y Campo Alegre del municipio de Apía Risaralda?

Se entiende al municipio de Apía Risaralda como el territorio en cuestión y el modelo de producción intensivo de aguacate como centro del análisis, de esta manera nos guiaremos por los siguientes cuestionamientos en la investigación: ¿Qué tan representativo puede ser el impacto sobre los recursos hídricos y forestales?, ¿Cuáles son las principales limitantes agroforestales del modelo productivo?, ¿Cuál es la concordancia de las políticas de planeación del municipio con el crecimiento en el cultivo de aguacate en zonas altas y cercanas a bosques en la última década?

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo general:

Estudiar los efectos de la expansión en las áreas destinadas al cultivo intensivo de aguacate en las veredas, las Cabañas y Campo Alegre del municipio de Apía Risaralda, abarcando aspectos medioambientales relacionados con la deforestación y la calidad del agua.

Objetivos específicos:

- Caracterizar la frecuencia en el uso del suelo y su relación con la deforestación frente al cultivo intensivo de aguacate en las veredas las Cabañas y Campo Alegre del municipio de Apía Risaralda entre los años 2011 y 2016.
- Identificar alteraciones de la calidad del agua, basados en pruebas de temperatura, pH, conductividad eléctrica, STD, POR y OD, en las veredas las Cabañas y Campo Alegre del municipio de Apía Risaralda.
- Realizar análisis sobre la incidencia de la problemática con relación al esquema de ordenamiento territorial EOT del municipio de Apía y las políticas agro-ambientales.

METODOLOGÍA GENERAL

La propuesta de investigación aquí presentada, se puede definir acorde a las precisiones de Hernández, Fernández, & Baptista (2001) como un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno. De acuerdo a los objetivos presentados corresponde a una investigación de tipo deductivo; partiendo desde lo más general hasta lo más específico.

El enfoque puede considerarse mixto, consiste en la combinación de dos modelos (cuantitativo y cualitativo), éste permitirá recolectar los datos e información necesaria para presentar y explicar de forma más detallada los impactos que presenta la investigación. Los estudios de enfoque mixto “representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y análisis de datos cuantitativos y

cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada" (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

Este estudio se realizará bajo un enfoque de tipo explicativo, que permitirá establecer, describir y explicar los impactos ocasionados por la expansión del cultivo intensivo de aguacate en las veredas, las Cabañas y Campo Alegre del municipio de Apía Risaralda, Colombia. A través de este enfoque se darán a conocer los efectos más relevantes en el territorio y se podrán explicar los diferentes factores asociados a la deforestación y la afectación en la calidad del agua en relación con esta actividad productiva.

En el desarrollo de esta investigación se realiza un análisis de imágenes satelitales confrontadas de manera cronológica a través del cálculo de frecuencia de uso del suelo y su relación con la deforestación. Para este ejercicio se tomó como insumo, información de la Corporación Autónoma Regional CARDER, en lo que corresponde a la cartografía para usos del suelo en el departamento de Risaralda entre los años 2011 y 2016.

Para graficar la frecuencia en el uso del suelo, se usará el aplicativo RStudio, que es un entorno de desarrollo integrado para el lenguaje de programación R, dedicado a la computación estadística y gráficos.

Los periodos oficiales para la actualización de información respecto al uso del suelo rural, se presentan por parte de CARDER de manera quinquenal, por lo cual, el estudio comprende los resultados cartográficos de dos periodos para su análisis, siendo estos, 2011 y 2016.

Los datos se recolectan en el formato MAGNA-SIRGAS, sistema de referencia oficial para Colombia en lo referente a la generación de datos espaciales de alta calidad. MAGNA-SIRGAS garantiza la compatibilidad de las coordenadas colombianas con las técnicas espaciales de posicionamiento, por ejemplo, los sistemas GNSS (Global Navigation Satellite Systems), y con conjuntos internacionales de datos georreferenciados (IGAC, 2020)

Una vez recolectados los datos, se procesan en el software de licencia libre QGIS, sistema de información geográfica que permite analizar la

información para evaluar en este caso la disminución del bosque en el espacio temporal 2011- 2016 para el área correspondiente a la cuchilla de San Juan, zona de reserva a la cual pertenece la vereda Las Cabañas y sobre la que tiene influencia la vereda Campo Alegre del municipio de Apía Risaralda.

Las condiciones altitudinales, entre 1800 y 2100 msnm y geográficas de la zona de estudio, con influencia al área protegida, se constatan con la evaluación agropecuaria departamental, determinando en estas veredas el aguacate Hass como único cultivo permanente. Es por esto que se asocia el cultivo de aguacate con la disminución de bosque y se toman los datos vectoriales específicos para el área de influencia de la cuchilla de San Juan.

También se realizan análisis de muestras de agua, comprendiendo variables como la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica, la turbidez, ORP y OD. La Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, cuenta con el equipo multiparamétrico portátil (Hanna HI98194), que registra hasta 12 parámetros diferentes claves en la calidad del agua. Su sonda multi-sensor permite medir parámetros como pH, ORP, conductividad, oxígeno disuelto y temperatura. La sonda multiparamétrica transmite las lecturas digitalmente al medidor, donde se pueden mostrar y registrar los puntos de datos. Este medidor de calidad del agua es completo y fácil de configurar.

Este dispositivo, cuenta con una sonda que transmite lecturas digitalmente al medidor, donde se pueden exhibir y registrar puntos de datos. El uso de la comunicación digital permite una transferencia de datos libre de ruidos de hasta 100 metros de longitud. El sistema completo es simple de configurar y fácil de usar, sin embargo y considerando las políticas de la UNAD, institución que se presenta como colaboradora en este estudio, las muestras se toman en campo y son dirigidas en recipientes de vidrio hasta el laboratorio ubicado en la ciudad de Dosquebradas Risaralda.

Una vez tomadas las muestras en la fuente agua con un recipiente estéril de vidrio, se dirigen al equipo (Hanna HI98194) para que de manera in situ se haga el respectivo análisis, para esto se introduce el electrodo en el frasco y se selecciona en el equipo el parámetro deseado para el análisis de manera manual. Después de 60 segundos aproximadamente, se logran datos con

precisión para las variables pH, POR, OD (%), OD (ppm), Conductividad, T° y STD.

La lectura de la información se hace de manera automática, el equipo muestra en su pantalla los dígitos en el número de parámetros seleccionados. Cada parámetro medido es totalmente configurable. Una vez realizada la lectura se toma nota de los resultados para realizar la respectiva tabulación de la información.

Además, se realizará en cada una de las dos muestras un chequeo con el método KIT Freshwater Master Test, mecanismo básico que, mediante colorimetría tras el contacto de la muestra con las sustancias del test, calcula rangos para los parámetros pH, Amoniaco, Nitritos y Nitratos.

En general los resultados obtenidos serán analizados para su discusión frente a los parámetros normativos en calidad de agua para el consumo humano y doméstico, o de saneamiento básico en zonas rurales según la ley colombiana.

Los puntos exactos del muestreo se definen tras visitas a campo y se determinan las fuentes de agua más cercanas a los cultivos, una por cada vereda para un total de dos muestras. Además, se realiza un estudio previo para determinar el momento más indicado para la toma de muestras, comprendiendo la consulta a personal técnico y profesional del área frutícola en la zona, determinando que los momentos idóneos para tal verificación, corresponden a la etapa posterior a la cosecha, momento en el que se aplica mayor cantidad de agroquímicos (diciembre-enero).

De igual manera, se hará un análisis de la ocupación del área de estudio frente a los usos del suelo permitidos en el Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Apia en el marco de la normatividad vigente.

Como fuentes de información secundaria, se obtendrá literatura relacionada a estudios académicos y datos de fuentes del sector como: ICA, ASOHOFRUCOL, CORPOICA, DANE, MINAGRICULTURA.

Capítulo 1

1. Conformación de bosques en el departamento de Risaralda y municipio de Apía

El Plan de Gestión Ambiental Regional de Risaralda PGAR 2020-2039, clasifica el territorio del departamento en tres subregiones, con el fin de facilitar la planificación en el proceso de gestión ambiental. Apía se ubica en la subregión II, acompañado de los municipios vecinos Balboa, Belén de Umbría, Guática, La Celia, La Virginia, Quinchía y Santuario, representando como subregión el 28,5% del total del área del departamento, así como el 16,5% de la población risaraldense.

Frente a los ecosistemas existentes en el departamento, (Corporación Autónoma Regional de Risaralda [CARDER], 2019, p. 15) define la distribución de los ecosistemas del departamento de Risaralda, según su orden de predominio en el territorio en agroecosistemas ganadero y cafetero, Bosque Subandino muy húmedo Cordillera occidental oriental y Bosque fragmentado Subandino muy húmedo Cordillera occidental oriental.

En el territorio risaraldense los ecosistemas con relación a actividad agropecuaria son predominantes, por lo cual la conservación de bosques y zonas de reserva se hace prioritario para las entidades públicas relacionadas con el sector ambiental, pero las cifras relacionadas con el cambio en usos del suelo no son del todo precisas y la capacidad institucional para ejercer control y vigilancia, no es suficiente. En la tabla 1, se presentan los ecosistemas existentes en el departamento de Risaralda con sus respectivas áreas.

Tabla 1. Ecosistemas del departamento de Risaralda

Ecosistema	Hectáreas
Afloramientos rocosos	231,94
Agroecosistema cafetero	50.877,72
Agroecosistema de caña	4.481,40
Agroecosistema de cítricos	184,31
Agroecosistema ganadero	68.869,78
Bosque Altoandino muy húmedo Cordillera occidental	5.817,29
Bosque Altoandino muy húmedo Cordillera occidental oriental	8,73

Bosque Altoandino pluvial Cordillera Central	8.332,43
Bosque Altoandino pluvial Cordillera occidental	2.067,27
Bosque Andino muy húmedo Cordillera Central	7.545,02
Bosque Andino muy húmedo Cordillera occidental	20,23
Bosque Andino muy húmedo Cordillera occidental oriental	5.012,77
Bosque Andino muy húmedo Cordillera occidental pacifico	6.485,01
Bosque Andino pluvial Cordillera occidental oriental	474,26
Bosque Andino pluvial Cordillera occidental pacifico	2.443,86
Bosque Basal húmedo Valle del Cauca	4.475,90
Bosque Basal pluvial Tropical Pacifico	14.126,73
Bosque Basal seco Valle del Cauca	302,26
Bosque de guadua	4.297,30
Bosque fragmentado Altoandino muy húmedo Cordillera occidental	7,37
Bosque fragmentado Altoandino pluvial Cordillera Central	1.554,04
Bosque fragmentado Altoandino pluvial Cordillera occidental	1.302,09
Bosque fragmentado Andino muy húmedo Cordillera Central	1.282,06
Bosque fragmentado Andino muy húmedo Cordillera occidental	1,88
Bosque fragmentado Andino muy húmedo Cordillera occidental oriental	364,15
Bosque fragmentado Andino muy húmedo Cordillera occidental pacifico	3.744,22
Bosque fragmentado Andino pluvial Cordillera occidental oriental	53,06
Bosque fragmentado Andino pluvial Cordillera occidental pacifico	2.318,77
Bosque fragmentado Basal húmedo Valle del Cauca	870,11
Bosque fragmentado Basal pluvial Tropical Pacifico	13.205,29
Bosque fragmentado Basal seco Valle del Cauca	9,23
Bosque fragmentado Paramo muy húmedo Cordillera Central	392,56
Bosque fragmentado Subandino húmedo Cordillera Central	52,8
Bosque fragmentado Subandino húmedo Cordillera occidental oriental	586,57
Bosque fragmentado Subandino muy húmedo Cordillera Central	3.717,42
Bosque fragmentado Subandino muy húmedo Cordillera occidental oriental	16.451,82
Bosque fragmentado Subandino pluvial Cordillera occidental pacifico	7.096,77
Bosque Paramo muy húmedo Cordillera Central	2.618,32
Bosque Paramo pluvial Cordillera occidental	2.734,74
Bosque Subandino húmedo Cordillera Central	1.386,56
Bosque Subandino húmedo Cordillera occidental oriental	1.680,20
Bosque Subandino húmedo Valle del Cauca	6,94
Bosque Subandino muy húmedo Cordillera Central	8.379,78
Bosque Subandino muy húmedo Cordillera occidental oriental	22.437,09
Bosque Subandino pluvial Cordillera occidental pacifico	13.264,31

Cuerpos de agua artificiales	10,33
Cultivo permanente	2.8431,22
Bosque fragmentado Subandino pluvial Cordillera occidental pacifico	7.096,77
Bosque Paramo muy húmedo Cordillera Central	2.618,32
Bosque Paramo pluvial Cordillera occidental	2.734,74
Bosque Subandino húmedo Cordillera Central	1.386,56
Bosque Subandino húmedo Cordillera occidental oriental	1.680,20
Bosque Subandino húmedo Valle del Cauca	6,94
Bosque Subandino muy húmedo Cordillera Central	8.379,78
Bosque Subandino muy húmedo Cordillera occidental oriental	22.437,09
Bosque Subandino pluvial Cordillera occidental pacifico	13.264,31
Cuerpos de agua artificiales	10,33
Cultivo permanente	2.8431,22

Fuente: CARDER, 2019

En la tabla puede apreciarse la importancia que aún representa en extensión el Bosque Altoandino pluvial Cordillera Central y Occidental, donde puede catalogarse la zona de estudio. Así mismo se observa la gran extensión en hectáreas del ecosistema “Cultivo permanente” en el que se clasifican las plantaciones de aguacate, frente a otras derivaciones de bosque nativo.

El cambio en el uso del suelo representa un gran riesgo para la conservación de ecosistemas; y los cultivos que hoy se implementan en alta montaña, como el aguacate, pueden considerarse amenazantes en la medida que no se regule su expansión. La Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre diversidad biológica y servicios de los Ecosistemas [IPBES], (2019) expone un reporte en el que las tres cuartas partes del medio terrestre han sido alteradas significativamente por actividad humana, siendo la agricultura la actividad con mayor incidencia en dichos cambios.

Respecto a los ecosistemas en el territorio, la proyección del Plan de Ordenamiento territorial para el departamento “Visión Risaralda 2032”, presenta en el año 2010 algunos resultados de su estudio, en lo que se puede resaltar:

> Los ecosistemas mayormente representados hoy en día en el departamento corresponden a los ecosistemas naturales (bosques, páramo y lagunas) que suman cerca de 17.500 Ha (49% del total de área), en segundo lugar, tenemos los agroecosistemas o sistemas

agropecuarios con un total aproximado de 173.500 Ha (48,4% del total del área). (p. 23)

Esta situación muestra que, en el panorama general del territorio departamental, las proporciones de bosque y ecosistemas agropecuarios en lo correspondiente al área son muy similares, sin embargo; la subregión en la que se encuentra el municipio de Apía, la situación es mucho más compleja y reviste cierta complejidad en cuanto a proporción y aparente crecimiento de sistemas agrícolas. En la subregión II, la relación en área entre los ecosistemas naturales y agroecosistemas, es la más alta del departamento (3,7) con mayor proporción de sistemas agrícolas (CARDER, 2010).

Es menester recalcar que en el 2008 el departamento reconoce oficialmente el modelo de Bosque Modelo Risaralda (BMR), mediante la alianza realizada entre la gobernación del departamento, la Universidad Tecnológica de Pereira, CARDER, el instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, el comité departamental de cafeteros y la ONG Solidaridad, reconociéndose con un grupo gestor único en el país. Es así como el BMR (2018) define como política ambiental que el 36% del territorio risaraldense sean áreas protegidas y prioriza la provisión de servicios ecosistémicos. (Giraldo et al., 2021).

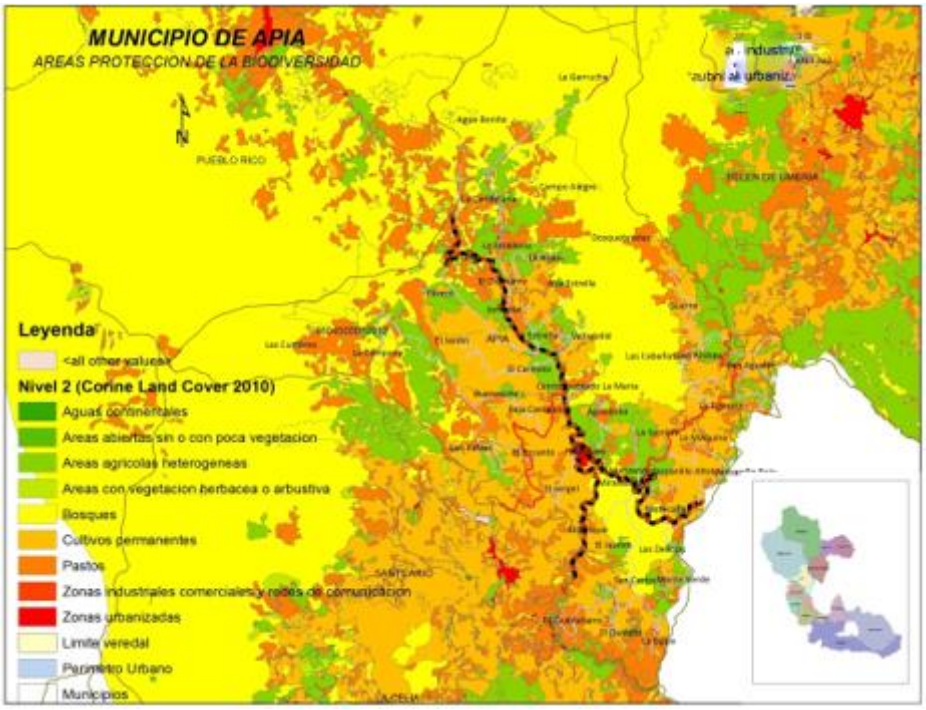
Conceptualmente, Ramírez y Perilla (2019) afirman que “el término “bosque modelo” se usó por primera vez en 1991 para describir un programa innovador que lanzó el Gobierno de Canadá, con el fin de desarrollar asociaciones de amplia base que pusieran en práctica las políticas de manejo forestal sostenible (MFS) en vastos terrenos forestales” (p. 41), de manera que este modelo de gestión deberá adecuarse a las condiciones especiales del departamento de Risaralda y sus particularidades en torno al uso del suelo y protección de sus bosques.

Para referirnos a la conformación de los bosques en el municipio de Apía, es necesario decir que la literatura existente, relaciona tal descripción con la cobertura y uso de la tierra. Conceptualmente se ha logrado la separación entre cobertura y uso de la tierra, que anteriormente se empleaban indistintamente; el término "Uso" implica la utilidad que presta un tipo de cobertura al ser humano,

para Janssen (2000) el uso se relaciona con las actividades humanas o las funciones económicas de una porción específica de la Tierra (como el uso urbano o industrial, de reserva natural, etc). El IDEAM (1997) describe la cobertura como la unidad delimitable que surge a partir de un análisis de respuestas espectrales determinadas por sus características fisionómicas y ambientales, diferenciables con respecto a la unidad próxima.

Respecto al uso y ocupación del suelo en el territorio apiano, se relaciona la imagen 1, oficial de la Corporación Autónoma Regional CARDER, ajustada al modelo de estandarización de la metodología y la leyenda de coberturas terrestres de Colombia, que inició desde el año 2004 con la adaptación a nivel nacional de la metodología europea CORINE Land Cover - CLC.

Imagen 1. Coberturas del suelo en el municipio de Apía



Fuente: CARDER, 2011

Se puede apreciar que, para el contexto territorial del municipio de Apía, la consolidación de los límites en sus áreas, se marca considerablemente por los recursos naturales y su aproximación a áreas protegidas. En el abordaje de la información secundaria respecto a la cobertura de la tierra para el municipio de Apía, no se encuentran fuentes más recientes a las relacionadas, siendo 2011 el año en el que se precisa de manera puntual una clasificación de coberturas para

el territorio. Sin embargo, el Plan de Gestión Ambiental del departamento PGAR (2018), relaciona datos que brindan una visión más objetiva en el orden departamental y para el municipio precisa una clasificación exclusiva en su cobertura a las estructuras ecológicas como se presenta en la tabla 2., que describe de manera concreta la clasificación de las áreas según su estructura ecológica dentro del municipio de Apía a partir de los análisis previos de la autoridad ambiental competente, Corporación Autónoma Regional CARDER.

Tabla 2. Clasificación de estructuras ecológicas

Nombre	Área (ha)
Áreas complementarias para la conservación	290.42
Áreas de amenazas naturales	1261.47
Áreas de importancia ambiental	3063.50
Áreas de restauración ecológica	23.62
Áreas en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP)	6336.36
Total, Municipio de Apía	10975.38

Fuente: PGAR, (CARDER), 2018

El análisis deja ver la necesidad de una caracterización más detallada que clasifique las coberturas de la tierra, áreas y representación porcentual, así como ubicación de las mismas. Sin embargo, con las fuentes secundarias existentes como EVA 2020, CARDER 2011 y el aplicativo terradata, se logra consolidar cifras a pesar de encontrar cierta disparidad en los periodos de muestra o antigüedad de la misma. A continuación, la tabla 3., presenta un consolidado de la cobertura y/o uso del suelo en el territorio municipio de Apía, a partir de los datos relacionados en la Evaluación Agropecuaria Municipal detallando su clasificación en los grupos: Cultivos forestales, Agropecuario, Área SINAP, Bosques de galería y riparios y Casco Urbano.

Tabla 3. Cobertura general de la tierra 2020

COBERTURA DEL TERRITORIO		
Clasificación	Área (Ha)	%
Nogal	12,00	0,06
Guadua	87,00	0,41
Agroforestal	42,00	0,20
Eucalipto	42,00	0,20
Urapan agroforestal	20,00	0,09
Cedro agroforestal	35,00	0,16
Total, cultivos forestales	238,00	1,11
Plátano	17,50	0,08
Granadilla	5,00	0,02
Tomate de árbol	13,00	0,06
Lulo	11,00	0,05
Caña panelera	14,50	0,07
Aguacate	919,00	4,29
Mora	11,00	0,05
Café	4361,40	20,38
Pastos	1948,00	9,10
Total, agropecuario	7300,40	34,11
Humedales	5,00	0,02
Páramos	162,00	0,76
Bosque protegido	6164,00	28,80
Total, Área SINAP	6331,00	29,58
Bosques de galería y riparios	7502,60	35,06
Casco Urbano	28,00	0,13
Total	21400,00	100,00

Fuente: EVA, 2020

Como se puede apreciar en la tabla, la porción de territorio comprendida dentro del sistema nacional de áreas protegidas en el municipio de Apía, apenas alcanza el 29,5%, mientras el uso agropecuario representa el 34,1%. Por su parte los bosques de galería y riparios suman el 35% del territorio, pero son estos últimos los que se pueden ver más amenazados con la expansión de cultivos como el aguacate, al encontrarse más fragmentados, algo que dificulta el control y protección por parte de las autoridades competentes.

2. Distrito de manejo integrado Cuchilla de San Juan

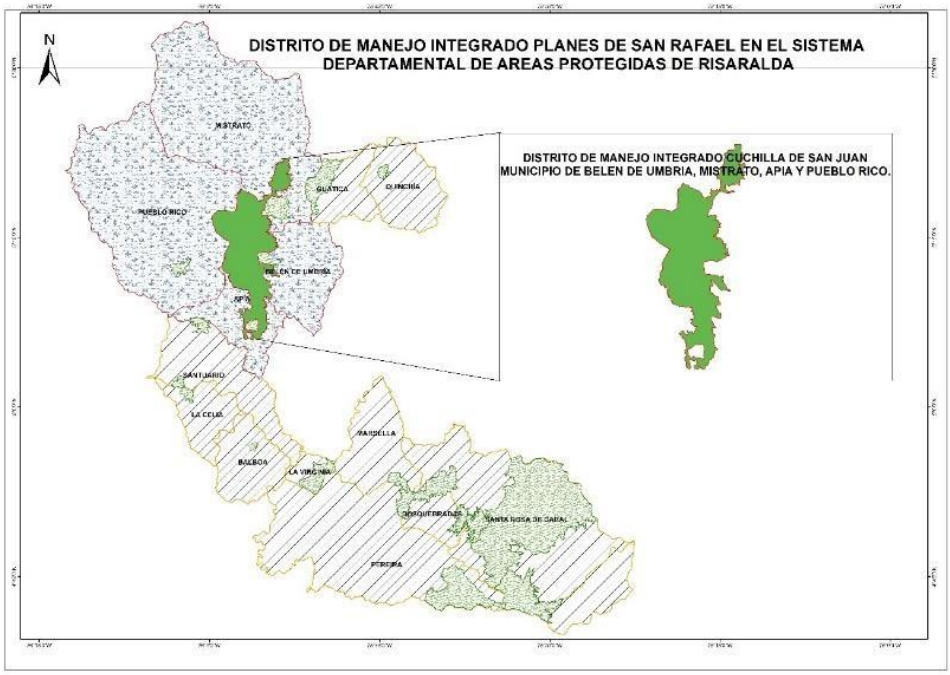
La importancia del distrito de manejo integrado Cuchilla de San Juan en el presente estudio, radica en que las veredas Las Cabañas y Campo Alegre influyen en esta área demarcada como zona de protección por el departamento de Risaralda.

El diagnóstico del Esquema de Ordenamiento Territorial EOT, del municipio de Apía en su determinante ambiental, (2021) describe de la siguiente manera esta zona protegida:

> El Distrito de Manejo Integrado Cuchilla del San Juan se encuentra ubicado al occidente del departamento de Risaralda, en jurisdicción de los municipios de Apía con 5163 hectáreas (47%), Pueblo Rico con 1408 hectáreas (13%), Mistrató con 2597 hectáreas (24%) y Belén de Umbría con 1871 hectáreas (17%). Está formado por un tramo de aproximadamente 25 kilómetros de longitud de la cordillera Occidental, entre la vereda La Línea en la carretera Apia – Pueblo Rico y la inspección de Policía Mampay en la carretera Mistrató – San Antonio del Chami. El área protegida tiene una extensión total de 11.039 hectáreas y colinda con tres áreas protegidas: el Parque Natural Regional Santa Emilia, Distrito de Manejo Integrado Arrayanal y Distrito de Manejo Integrado Agua Linda. (p.17)

El DMI Cuchilla del San Juan, fue identificado como un área importante para la conservación de la biodiversidad, debido a que cuenta con una cobertura boscosa forestal natural importante y constituye un corredor biológico natural entre el Parque Nacional Natural Tatamá y el cerro de Caramanta. También La Cuchilla del San Juan se destaca como una fuente hídrica de gran importancia regional, que es aprovechada para abastecer los acueductos de las zonas rurales y urbanas cercanas. Además, el área protegida es hábitat y refugio de gran parte de la flora y fauna nativa de la región. En la imagen 2, se puede apreciar la ubicación del DMI en el mapa del departamento de Risaralda

Imagen 2. Localización del DMI Cuchilla de San Juan



Fuente: CARDER, 2021

Esta categoría de distrito de manejo integrado DMI, es alcanzada gracias al acuerdo 032 del 2011 [Corporación Autónoma Regional, CARDER]. Por el cual se recategoriza la denominación de Parque Regional Natural con la categoría de área protegida Distrito de Manejo Integrado Cuchilla del San Juan como integrante del SINAP. En este acuerdo, CARDER como autoridad ambiental sanciona un área aproximada de 11157,4391 hectáreas en su conformación, algo que ya se ve disminuido según el diagnóstico del EOT de Apia, a 11039 hectáreas en solo 10 años, pero el cambio es aún más significativo si se compara con el área relacionada en el año 2000 cuando se crea mediante acuerdo como parque regional natural. “Se declara como Parque Regional Natural, el área determinada en el plano que se adjunta como parte integrante de este acuerdo, situada al noroccidente del departamento de Risaralda, comprensión de los municipios de Belén de Umbría, Apía, Mistrató y Pueblo Rico con una extensión aproximada de 13.187 hectáreas.” (Acuerdo 04 CARDER, 2000, Artículo 1)

Esta zona del departamento de Risaralda es de especial importancia para el ordenamiento territorial, debido a que contiene fragmentos de bosque andino ubicadas en el área de protección de las microcuencas abastecedoras de los

acueductos rurales y urbanos de los municipios de Mistrató, Belén de Umbría y Apía. Ospina (2019) afirma que “Cuchilla de San Juan representa el 8% del área protegida en el departamento de Risaralda, el cual se configura como un corredor de diversidad biológica al conectar dos importantes ecosistemas de la cordillera central como el Parque Nacional Natural Tatamá y los Farallones de Caramanta en Antioquia” (p.20).

A pesar de la importancia de esta área de reserva, los reportes de uso del suelo en cada periodo, dejan ver cambios importantes en su zona amortiguadora con la aparición de cultivos intensivos, algo que se muestra amenazante y genera preocupación por parte de las organizaciones ambientales y pobladores locales, que alegan falta de control por parte de las autoridades competentes ante el crecimiento de la agricultura intensiva con cultivos como el aguacate Hass, en desacato de la ocupación reglamentada. “Atendiendo a la categoría de Distrito de Manejo Integrado, los usos permitidos son: Preservación, restauración, conocimiento, aprovechamiento sostenible, disfrute” (Acuerdo 032, 2011, artículo 6).

Ante las dificultades presentadas, la Corporación Autónoma Regional de Risaralda CARDER, adopta y actualiza de manera periódica, planes de manejo específicos para el DMI Cuchilla de San Juan, en relación a la normativa correspondiente al Sistema Nacional de Áreas Protegidas SINAP, planes que deben adoptarse por los entes territoriales y garantizar su cumplimiento a cabalidad, en aras de garantizar la protección del medio ambiente. La última actualización de dicho plan, se presenta a través del acuerdo del consejo directivo CARDER 023 de junio de 2021 “Por el cual se adopta la actualización del Plan de Manejo del Distrito de Manejo integrado Cuchilla del San Juan", con una vigencia de cinco años.

Los planes de manejo de áreas protegidas, son además una estrategia del gobierno nacional para la articulación de políticas y acciones en materia de cambio climático. Los planes de manejo de áreas protegidas como estrategias que además deben brindar aportes significativos para retener la integridad ecológica y mantener así los bienes y servicios ecosistémicos para la sociedad civil (DNP *et al*., 2016).

Cuchilla de San Juan, se enmarca además en la estrategia de Nodos Regionales de Cambio Climático (NRCC) en la promoción, acompañamiento e implementación de planes programas y proyectos alineados con la política de cambio climático, facilitando su articulación con los instrumentos de planificación territorial y ajustándose a los modelos de gestión del riesgo (MADS y WWF, 2013).

Las zonas agrícolas con influencia en áreas protegidas, como el DMI Cuchilla de Sa Juan, no deben manejar los paquetes tecnológicos convencionales para productores agropecuarios, pues esta condición diferencial, obliga a implementar modelos más asociados a la agricultura forestal sostenible, conservación de márgenes hídricas y restauración de áreas degradadas, generando en los agricultores mayor sensibilidad de cara a la variabilidad de los indicadores de producción (Rivera, 2019).

Entre los objetivos de conservación del DMI Cuchilla de San Juan, destacan la promoción e integración de los procesos de ordenamiento territorial de los municipios de Belén de Umbría, Pueblo Rico, Apia y Mistrató. Mantener y aumentar las coberturas de ecosistemas de bosque andino y subandino muy húmedo de la cordillera occidental y preservar las coberturas naturales, con el fin de contribuir a la regulación hídrica de las microcuencas, para el abastecimiento de la población rural asentada en las veredas y la población urbana localizada en el área de influencia directa. (Acuerdo 023, 2021, Artículo 2).

3. Relación entre la frontera agrícola y la disminución en las áreas de bosque

La transformación de los ecosistemas y en especial la pérdida de áreas boscosas se debe a dos causas puntuales, la deforestación y los desastres naturales (Pareja, 2016). La deforestación se da estrictamente por una acción antropogénica, en la que priman los intereses económicos de particulares sobre el recurso natural como bien colectivo, e incluso afectando de manera directa o indirecta procesos naturales como la erosión, que pudieran incidir en los resultados de un desastre natural.

El aumento en los índices de deforestación, se asocia con regularidad al uso de la tierra en producción intensiva. Los cambios en los bosques tropicales, contrastan con el crecimiento de cultivos, pastos y plantaciones (Foley *et al.*, 2005).

En Colombia se perdieron 2,4 millones de hectáreas por deforestación en la década de 1990, algo que se redujo en la década del 2000 a 2 millones de hectáreas (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales [IDEAM], 2015). Tal situación sigue siendo preocupante, Parques Nacionales Naturales de Colombia, [PNN] (2014), reportó que para 2013 se deforestaron 120.933 hectáreas. El área andina, en la cual se encuentra el eje cafetero y el municipio de Apía, sufre en gran medida esta problemática, a la vez que se correlaciona con el incremento se sistemas productivos intensivos.

Las regiones Andina y Amazónica, han sido las más afectadas en Colombia por la deforestación, ambas suman el 72% del total de la deforestación de la nación entre 1990 y 2010 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, [MADS], 2013). La FAO de manera general atribuye esta situación a la pobreza rural; y es allí donde de manera indirecta actúa la expansión de las fronteras agrícolas.

Dewi, Belcher y Puntodewo (2005), analizaron la relación existente entre tasas de pobreza, la densidad de pobreza y la cobertura forestal en siete países. Los resultados del estudio concluyen que tres de los países presentan una correlación positiva de la pobreza frente a la deforestación, esto es poco menos del 50%, por lo que se determina que el comportamiento es diferente en las regiones a lo que deben atribuirse otros factores como la cultura y la educación.

Las condiciones de la ruralidad en Colombia hacen que los pequeños productores se expandan hacia zonas protegidas para trabajar en sus cultivos de pan coger, o en su defecto la situación más común, es vender sus tierras a terratenientes para establecer cultivos intensivos y extensivos.

El concepto de agricultura extensiva se focaliza en ampliar la superficie cultivada a gran escala, generalmente en monocultivo, ocupando espacios para mejorar rendimiento (Norzagaray *et al*, 2010); mientras la agricultura intensiva por su parte; se presenta como una forma de alta explotación tecnificada con el

uso de insumos y productos que potencian la producción de una manera direccionada (Reigada *et al*, 2017). Ejemplo de esto es el cultivo de aguacate en el municipio de Apía, que usa grandes extensiones de tierra mediante modelos intensivos en los que se emplean altas cantidades de agroquímicos y se acerca a reservas naturales con el modelo de deforestación conocido como socolado de bosque que consiste en una tala parcial y que avanza de manera gradual para evitar ser detectados por las autoridades ambientales.

Estas características han obedecido a una transformación en la agricultura generada con la revolución verde a mediados del siglo XX, esto supuso una mayor producción por Ha sembrada, sistemas de referencia como la oferta y demanda, aspectos políticos, las llamadas campañas contra el hambre y el aumento de la población mundial (Picado, 2012). Sin embargo, este hecho promueve la deforestación y contamina el ambiente con la gran cantidad de insumos y agroquímicos usados para lograr tales resultados de producción, entre los que resalta el glifosato, sustancia altamente tóxica (Pacheco, 2016).

La injerencia de la actividad agrícola en la deforestación en Colombia es determinante, FAO (2000), presenta los cambios en el uso del suelo como la principal causa de la deforestación, siendo la transición de zonas protectoras a productoras agrícolas la más importante, seguida de la explotación para postes y leña y el abastecimiento de materias primas en la industria forestal.

Para Xiao *et al* (2006), los procesos negativos de cambio de uso del suelo y vegetación han sido documentados como el segundo problema ambiental a nivel global, por su parte Ehrlich y Ehrlich (2013) considera que esta situación limita las posibilidades de los territorios para garantizar el manejo sustentable de los recursos naturales.

La expansión de la frontera agrícola desnuda serias dificultades de la institucionalidad colombiana frente a la protección de reservas naturales. La nación cuenta con políticas poco efectivas para la conservación de bosques, además, la permisividad estatal y el conflicto armado dejan como consecuencia la degradación del medio ambiente y los servicios ecosistémicos (García, 2014; Vargas, Fergusson y Romero, 2014).

Otros países de Latinoamérica presentan situaciones similares ante esta problemática, México, principal productor de aguacate Hass en el mundo, ha presentado estabilidad aparente en los índices de deforestación, pero se cuestiona la aparición de cultivos arbóreos como el aguacate, que pudieran considerarse como vegetación secundaria y se confunden con la conexión de zonas amortiguadoras de grandes bosques.

Algunos estudios han mostrado que las áreas con vegetación secundaria en México, más que derivar de zonas efectivamente restauradas o reforestadas al recuperarse de actividades agrícolas o pecuarias, provienen de la alteración de la vegetación primaria o de bosques secundarios, por lo que están más relacionadas con procesos de degradación de la vegetación forestal que de recuperación de la misma (Cuevas et al., 2010).

En el eje cafetero colombiano se han registrado situaciones similares con plantaciones forestales con fines comerciales. Tras estudiar la deforestación del distrito de conservación Barbas Bremen, (comprende los municipios de Filandia, Circasia y Salento en el departamento del Quindío y Pereira en Risaralda) se afirma que los reportes de las corporaciones autónomas no son del todo reales y evidencia como al bosque nativo se le suman hileras de eucaliptos que se confunden con la vegetación propia del lugar, cuando la afectación al ecosistema es notable (Gaviria, 2014).

4. Los sistemas de información geográfica y su implementación en el uso y ocupación del suelo

Frente a la determinación de índices forestales, uso y ocupación del suelo, las técnicas de digitalización e interpretación de imágenes digitales, están al alcance para el análisis de la cuestión. Cayuela (2006), estudió la tasa de pérdida y los patrones de fragmentación en los bosques montanos tropicales en los Altos de Chiapas, México, durante un período de 25 años, utilizando imágenes satelitales Landsat, determinando así las tasas de deforestación anual.

La deforestación, o los cambios en la cobertura forestal, pueden detectarse con herramientas digitales o tecnológicas. Achard, Beuchle *et al* (2014), interpreta la cobertura forestal a partir de imágenes satelitales, que

combinan con mapas de biomasa para estimar pérdidas en el bosque. Tales estimaciones pueden precisarse de una manera más objetiva, si la herramienta utilizada, logra proyectarse en el tiempo. Rodríguez, Echeverry y Leiton (2021), lograron evaluar los cambios espacio-temporales en bosques nativos de la ribera del río Mira en Ecuador, entre los años 1991 y 2017, gracias a un modelo de corredor-parche.matriz, a través de imágenes.

Los sistemas de información geográfica representan gran importancia en el reconocimiento holístico de factores como la perdida de cobertura vegetal y las variaciones en el uso del suelo en relación al tiempo y espacio, como mecanismo de estudio para la intervención de recursos naturales (Pineda et al., 2009).

El presente trabajo reconoce en la interpretación de datos espaciales, un modelo para la identificación de cambios en la vegetación boscosa de la reserva natural Cuchilla de San Juan “municipio de Apía”, en relación con la agricultura expansiva, en espacial aguacate Hass. La superposición de imágenes satelitales en diferentes espacios temporales, permite concretar la evolución de patrones de distribución espacial y definir la permanencia y los cambios en el uso del suelo (Buzai y Baxendale, 2011).

En este tipo de investigaciones, no solo se pueden realizar análisis a partir de las imágenes satelitales generadas en diversos sistemas de información geográfica, también se logra interpretar información de estadística espacio-temporal frente al uso del suelo para determinar así la influencia de su ocupación ante una problemática ambiental en particular. Tong y Chen (2002), logró determinar los efectos hidrológicos del uso del suelo en el estado de Ohio USA, a partir del análisis estadístico espacial de la ocupación de la tierra y la calidad del agua de fuentes receptoras de las áreas estudiadas, como resultado, se pudo revelar una importante relación entre el uso de tierras para actividades agrícolas y la afectación en la calidad del agua, en especial, contaminantes derivados de nitrógeno y fósforo.

Algunos estudios importantes en Colombia han logrado determinar cambios en el uso del suelo a partir de mapas de cambio de bosque en diferentes rangos de tiempo. Pareja (2019) afirma en su investigación de la influencia de la

pobreza rural en la deforestación “se contempla el cambio en cobertura boscosa que se presentó en Colombia entre 2005 y 2013, se observa que los bosques estables han tenido un cambiado progresivo a bosques no estables.” (p.24).

El campo de trabajo de los sistemas de información geográfica SIG es bastante amplio en lo que respecta a las diferentes determinantes de la ocupación del suelo. Pérez (2007), implementó los SIG para determinar las transformaciones en la cobertura del suelo en relación con las actividades económicas en las Islas Canarias entre 1960 y 2002, determinando, además, las tasas de erosión mediante la adaptación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos USLE a un sistema de información geográfica.

Ciborowski *et al* (2005), da un paso importante en la evaluación de sistemas ecológicos costeros, al analizar las perturbaciones usando la clasificación de usos del suelo a través de datos SIG obtenidos en fuentes de información pública para las ecorregiones de grandes lagos en USA. Con la interpretación de datos en este trabajo, se pudo identificar el grado de perturbación antropogénica en las áreas relacionadas con ecosistemas acuáticos frente a la transformación generada en estos territorios por usos definidos como agrícola, residencial y de alta densidad vial, clasificando áreas de referencia en márgenes superiores a 2 Km de las costas.

Los avances en materia de detección de cambios en el uso del suelo han logrado concretar procedimientos más complejos. Ramírez y Pértile (2013) lograron cruzar categorías de dos mapas de usos del suelo con diferentes cortes temporales, obteniendo una combinación de categorías para indicar cambios y permanencias en el uso y ocupación del suelo rural.

Mediante la tabulación cruzada, se logró describir los cambios en la cobertura y uso del suelo del estado de México, además, se construyeron modelos explicativos para la pérdida de masa forestal entre 1993 y 2002. (Pineda *et al.,* 2008).

La teledetección SIG, es otro modelo importante para el seguimiento en los modelos de uso y ocupación del suelo, siendo de gran ayuda en el monitoreo de áreas de interés ecológico, dada su precisión en la lectura de datos. Hernández *et al* (2013), usó la técnica de teledetección de imágenes satelitales

multiespectrales en el estado de Veracruz, México, para analizar los cambios en el uso del suelo entro los años 1976-2009, determinando con herramientas SIG la tasa de deforestación y un análisis paisajístico de la fragmentación de la selva del territorio en cuestión.

5. Aguacate Hass y su cercanía al área protegida “Cuchilla de San Juan”

El aguacate, conocido también como Palta, de nombre científico *Persea Americana Mill*, es una fruta tropical originada en México y Guatemala hace 10.000 años, se clasifica en tres razas ecológicas, las cuales se desarrollaron en distintas áreas y se conocen como antillana, guatemalteca y mexicana. Sus características se diferencian en el color de follaje, el tamaño del fruto y de la planta. (Instituto Colombiano Agropecuario, 2012, pág. 6).

Dentro de las características de la variedad Hass, se puede decir que pertenece a la raza guatemalteca *Persea nubigena var*. guatemalensis y se adapta a condiciones subtropicales, a temperaturas de 5 a 19 °C y alturas entre los 1.800 y 2.000 msnm (ICA, 2012). Frente a su origen, puede decirse que viene de una planta guatemalteca en la Habra Heights California, E.U., por Rudolph Hass, y plantado en 1935 (Teliz *et. al*, 2000; citado por Bartoli, 2008).

Frente a los parámetros a considerar, Boxiga *et al* (2018) sugiere que “El aguacate Hass se desarrolla favorablemente en áreas con lluvia anual de 1000 a 1800 milímetros, humedad entre el 80 al 85%, fotoperiodo anual de 980 a 1200 horas luz y un régimen térmico anual de 1750 a 3250 unidades calor acumuladas entre 10 y 30°C.”

Factores como la precipitación, dada su demanda de agua, la temperatura y la topografía, representan gran importancia en la tecnificación y manejo intensivo del aguacate (Sagarpa, 2017), condiciones que se ajustan a las características del territorio apiano. En esta localidad el establecimiento de aguacate se ha realizado en la zona más alta de su geografía, con cercanía a fuentes de agua y reservas forestales, algo que potencia el impacto negativo del cultivo. EVA (2021) muestra que, en el territorio, de las 1.019 Ha establecidas en aguacate, 981 Ha se encuentran en la zona alta del municipio, en altitudes que

superan los 1.800 m.s.n.m y con cercanía a bosques de reserva, así como nacimientos de agua.

El área de estudio, reconocida como veredas Las Cabañas y Campo Alegre en el municipio de Apía Risaralda, se encuentra dentro del territorio demarcado como zona protegida “Distrito de manejo integrado Cuchilla de San Juan”. Como hemos visto, las características agrológicas y topográficas del territorio en cuestión, son de alta montaña, con alturas sobre el nivel del mar que van de los 1800 a 2400 m.s.n.m., y una temperatura entre 10°C y 15°C, además de una pluviosidad que supera los 3500 mm anuales según IDEAM. Estas variables climáticas y agrológicas son determinantes para medir la tolerancia a enfermedades y los rendimientos de variedades como el Hass en grandes extensiones (Choudhury *et al*., 2016; Wei *et al*., 2018).

La secretaría de desarrollo económico de Apía, en su reporte de evaluación agropecuaria municipal, ubica el aguacate como el segundo cultivo intensivo en área de extensión, detrás del cultivo de café que reporta 4.347 Ha. El informe presentado por la secretaría de desarrollo, deja ver las veredas las Cabañas Alta Campana y Campo Alegre, concentrando el 30% del área sembrada en la variedad Hass para todo el municipio de Apía. La entidad municipal informa que las áreas hoy sembradas en aguacate, pasaron de 71 Ha en 2012 a 1.019 en 2021, ocupando espacios de pastos, café y cultivos transitorios.

La deforestación puede considerarse como un proceso de cambio en la cobertura y uso del suelo, de su estado natural a residencial, agropecuario o industrial, modificando la estructura del funcionamiento ecosistémico de manera negativa (Cruz *et al.,* 2015). Este proceso en el área de estudio viene acelerándose de manera vertiginosa, así lo demuestran las cifras de la evaluación agropecuaria municipal, Pulgarín (2020) identificó el crecimiento en la producción de fruta para exportación “Aguacate Hass” entre 2018 y 2020 por parte de la asociación Aguacates de la Villa del municipio de Apía, con predios ubicados en zona de alta montaña.

La tendencia al crecimiento se da desde los estímulos e incentivos por parte de la agremiación aguacatera y las empresas de agro insumos que se

sirven de los paquetes tecnológicos ofertados para el cultivo. La posibilidad de producir durante todo el año, marca una ventaja de los productores colombianos frente a sus competidores y brinda la oportunidad de intensificar su producción (Granados, 2018)

Este modelo de intensificación y expansión, acelera los procesos de deforestación y cambio en el uso del suelo de manera ilegal. (Khan et al., 2021), estudió el cambio en el uso del suelo motivado por el cultivo de aguacate en Michoacán, México, encontrando dentro de sus resultados, incremento en la deforestación y ampliación de la frontera agrícola representada en el aumento de las áreas sembradas en Hass.

Esta situación, también se refleja en el plano nacional, Rodríguez (2022) analizó los efectos de la producción de aguacate Hass en el sur del departamento del Huila, Colombia, concluyendo que las plantaciones establecidas en áreas cercanas a reservas naturales o con conflicto de uso del suelo, conllevan a una aceleración de la deforestación de alta montaña y afectación de algunas especies polinizadoras.

La ubicación de estos cultivos en zona cercana al área protegida, no solo guarda relación con las condiciones climáticas, del suelo y su oferta agrológica, también debe tenerse en cuenta que estas reservas se consideran productoras de agua, al contar con importantes afluentes, siendo este recurso uno de los más requeridos en la producción. Se calcula que, para producir un Kilogramo de aguacate, se necesita aproximadamente 700 litros de agua (Water Footprint Network, 2021).

6. Descripción del método implementado para la recolección de información en el análisis del uso del suelo entre los años 2011 y 2016

El análisis parte de la información publicada por la Corporación Autónoma Regional CARDER, frente a la cartografía para usos del suelo en el departamento de Risaralda entre los años 2011 y 2016. Estos datos fueron descargados del Sistema de Información Ambiental y Estadístico SIAE de la

corporación autónoma en su sitio oficial, accediendo por medio del enlace de información cartográfica de Risaralda.

Los datos fueron descargados del sitio para cartografía, en formato Shape, se filtraron los archivos correspondientes a usos del suelo para los periodos 2011 y 2016; y se seleccionaron los correspondientes al municipio de Apía, la zona de estudio, veredas Las Cabañas y Campo Alegre, comprenden la mayor porción de área boscosa y pertenecen al distrito de manejo integrado Cuchilla de San Juan, por lo cual la disminución del uso del suelo bosque, guardará relación directa con las actividades desarrolladas en estas veredas.

Estos datos, en archivo Shape, fueron tratados en el software de licencia libre QGIS, sistema de información geográfica que permite analizar la información, para luego desarrollar datos estadísticos en formato Excel.

En la clasificación de información se tuvieron en cuenta las variables arbustal, bosque, cultivos agroforestales, cultivos permanentes arbóreos y pastos arbolados, las cuales se analizaron en los periodos 2011 y 2016 frente al cambio en su área medida en hectáreas (Ha).

Los usos descritos por la fuente CARDER, se tienen en cuenta en el estudio, al asociarse territorialmente con el bosque; que para el área de trabajo “veredas las Cabañas y Campo Alegre” se presenta con la única categoría de alta montaña. Los demás usos se relacionan con cultivos que pueden representar la presencia de aguacate Hass, al no contar con un detallado en la descripción de cultivos. Además, se pudo corroborar con la Evaluación Agropecuaria municipal EVA, que en la zona no existen otros cultivos arbóreos diferentes al aguacate Hass.

En anexo se comparte, la información recolectada y tabulada para los puntos correspondientes al área de estudio tanto en 2011 como en 2016.

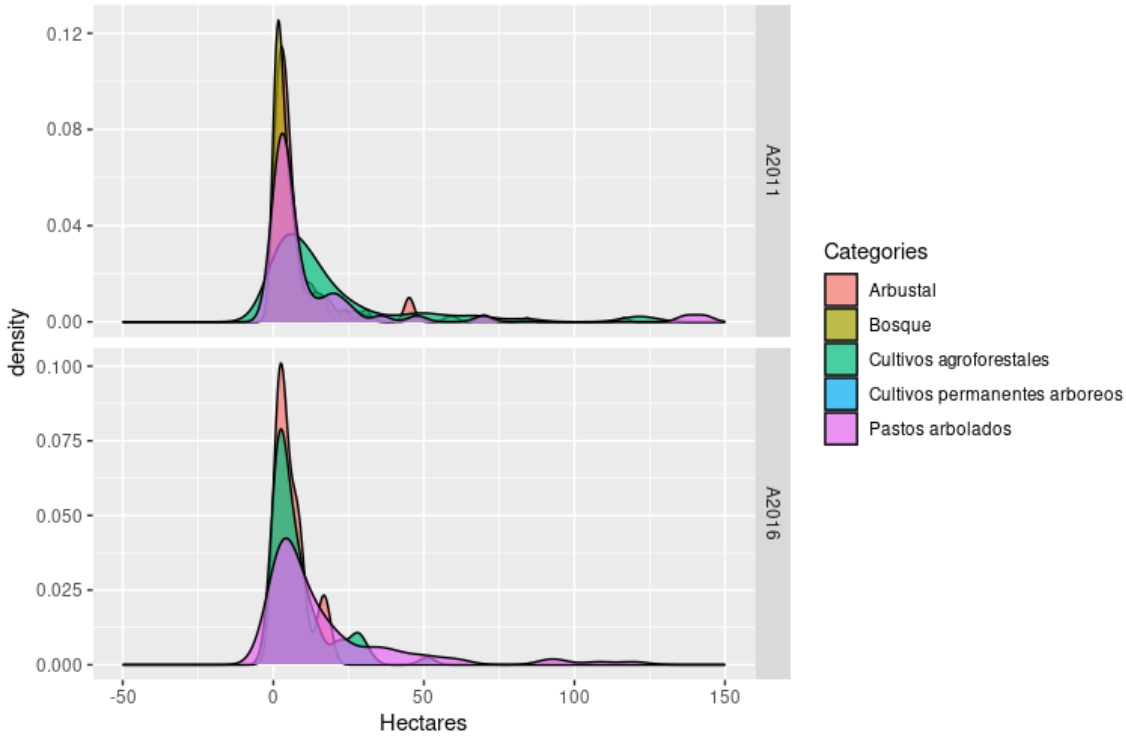
Una vez convertida la información de formato Shape a Excel; y su respectiva tabulación, se procesó en el aplicativo RStudio R (v.4.2.0), entorno de desarrollo integrado para el lenguaje de programación R, dedicado a la computación estadística y gráficos.

7. Resultados y discusión del análisis en el uso del suelo entre los años 2011 y 2016

Se obtuvo una gráfica para visualizar la distribución de datos en los periodos de tiempo 2011 y 2016, frente al área destinada para los usos de suelo descritos. En el eje x, se ubica la variable Hectáreas, mientras en el eje y, se presenta la densidad, representando la forma de distribución de los datos “variables de uso del suelo”, aquí, los picos de densidad ayudan a mostrar dónde los valores se concentran, o se obtuvo mayor repetición de un uso del suelo en los puntos tomados satelitalmente.

Con el procesamiento de datos en RStudio, se logró graficar la frecuencia del uso del suelo en el área de estudio entre los años 2011 y 2016. A continuación, en la imagen 3, se pude observar la representación de la frecuencia en los usos del suelo agropecuario para los periodos de tiempo mencionados, contemplando las categorías; arbustal, bosque, cultivos agroforestales, cultivos permanentes arbóreos, pastos arbolados.

Imagen 3. Frecuencia del uso del suelo 2011 vs 2016



Fuente: Elaboración propia con aplicativo RStudio

Todos los datos fueron escalados ya que tenían diferentes ordenes de magnitud. El escalado no ayuda a asegurar que las comparaciones sean justas. Por ejemplo, si una variable tiene un rango mucho más amplio que otra, la densidad de la primera podría aparecer más baja simplemente debido a su escala y no porque tenga una menor densidad real.

La discusión del resultado se centra en el análisis de la medición de frecuencia, número de veces que se repite y que a su vez se representa en la intensidad en la gráfica las categorías para los usos del suelo: a) Arbustal (Rosa), b) Bosque (Beige), c) Cultivos agroforestales (Verde), d) Cultivos permanentes arbóreos (Azul), e) Pastos arbolados (Violeta).

La intensidad, que revela el mayor número de veces que el uso del suelo o categoría se repite, se observa en el eje y como “densidad”, mientras que en el eje x se muestran las “hectáreas”. Es importante recalcar que, al medir la frecuencia, el número de veces que se observa un uso del suelo es determinante para el resultado, por lo cual tomará mayor relevancia la densidad que las hectáreas.

En la imagen, se puede notar que para la variable bosque, que es la determinante para definir la existencia de deforestación, se evidencia una alta densidad en el periodo correspondiente al año 2011, mientras que en el periodo 2016 ya no es significativa. Esto refiere una alta reducción del uso del suelo Bosque en este lapso de cinco años, es decir, se presentan menos puntos tomados con esta clasificación en 2016, algo que refiere una evidente disminución de zonas boscosas dentro de la muestra.

Así mismo, se resalta que, para los puntos tomados en la clasificación 2016, la alta densidad de bosque se remplaza por las variables arbustal y cultivos agroforestales, en los que pudiera clasificarse el cultivo de aguacate Hass, que como lo demuestra EVA, presentó un incremento vertiginoso en el mismo periodo de tiempo evaluado, siendo la zona de estudio, veredas Las Cabañas y Campo Alegre, las de mayor representatividad en número de predios productores de este cultivo.

Este fenómeno se puede presentar ante la falta de control por parte de las autoridades ambientales y la poca precisión para medir áreas totales de bosque,

que por lo general presentan estructuras de deforestación parcial con el método denominado socolado por parte de los productores o mediante la expansión parcial de cultivos arbóreos cómo el aguacate que pueden “disimular” la disminución de bosque nativo. Francois *et al* (2017) encontró que en la región aguacatera de sierra-costa, se presentó la mayor deforestación del estado de Michoacán, México, en el periodo 2004-2007, tras estudio realizado mediante análisis de imágenes satelitales, encontrando, además, una perdida fragmentada como posible influencia del cultivo.

El modelo de expansión e intensificación y la cercanía del cultivo con el bosque, representan un mayor riesgo de deforestación en los puntos referenciados cómo productores de aguacate. Acevedo *et al* (2021) logró demostrar en la cuenca media de Caquetá-Putumayo, al sur de la Amazonía colombiana, que la intervención antrópica por acciones agrícolas, generó alta deforestación en fragmentos de selva, en lugares cercanos a cultivos y pastizales, entre 2015 y 2020.

El incremento en áreas de cultivo y su intensificación, suele darse de manera gradual, provocando una deforestación fragmentada, al iniciar el cultivo de aguacate en asocio con otros cultivos, para luego expandirse hacia zonas más boscosas (Vargas *et. al,* 2018).

El socolado de bosque se define como la actividad que consiste en eliminar, o remover la vegetación que se encuentra bajo el dosel de los árboles, mayormente plántulas, o arbustos (Parque Nacionales Naturales de Colombia, 2017). Esto en la práctica de los agricultores, se traduce en una modalidad que permite al productor ganar espacio para su cultivo sin generar alertas por deforestación en granades áreas y camuflarse con cultivos forestales o arbóreos. De esta manera, se generan extensiones de los cultivos en asocio con grandes árboles, pero se genera alto daño ecosistémico al interrumpir el ciclo de los corredores vegetales.

La categoría de cultivos permanentes arbóreos, no se muestra muy significativa en la gráfica de frecuencia, presenta una ligera densidad en 2011 y desaparece 2016, algo comprensible, pues los monocultivos de frutales de clima frío como el aguacate, apenas empiezan a introducirse después del 2010 según

la secretaría de desarrollo económico del municipio de Apía, luego incrementan de manera vertiginosa como lo muestra EVA (2017), pero no se hacen visibles en la clasificación como cultivo, al ubicarse en alta montaña y confundirse para la imagen satelital con arbustal y cultivos agroforestales, los cuales no son determinantes para producción agropecuaria en el municipio de Apía según EVA (2021).

Para la categoría pastos arbolados, se muestra estabilidad en el periodo de tiempo evaluado, a pesar de los informes presentados en la evaluación agropecuaria municipal, que indican una importante disminución en las áreas destinadas a la ganadería. Esta situación puede obedecer a que, en reemplazo de esas áreas de producción ganadera en alta montaña, se implementaron cultivos de aguacate Hass, según la secretaría de desarrollo económico municipal. Las áreas reemplazadas no erradicaron las pasturas en su totalidad, desarrollaron siembras con el método de plateo, solo se trabaja en el perímetro del árbol, por lo cual estas áreas en gran medida se conservan como pastos arbolados.

Capítulo 2

1. Características de la alta montaña en el municipio de Apía y su importancia para la hidrografía de la región.

El municipio de Apía cuenta con el 47% del territorio del área protegida, Distrito de manejo integrado Cuchilla de San Juan, algo que lo convierte en el municipio con mayor participación en esta importante reserva natural de interés hidrográfico para el departamento de Risaralda y la ecorregión eje cafetero. Pero, además tiene territorio en el distrito de manejo integrado Planes de San Rafael, el Parque Nacional Natural Tatamá y cuenta con la totalidad del área del DMI Agua Linda, por lo que se considera un municipio productor de agua por excelencia según CARDER (2020).

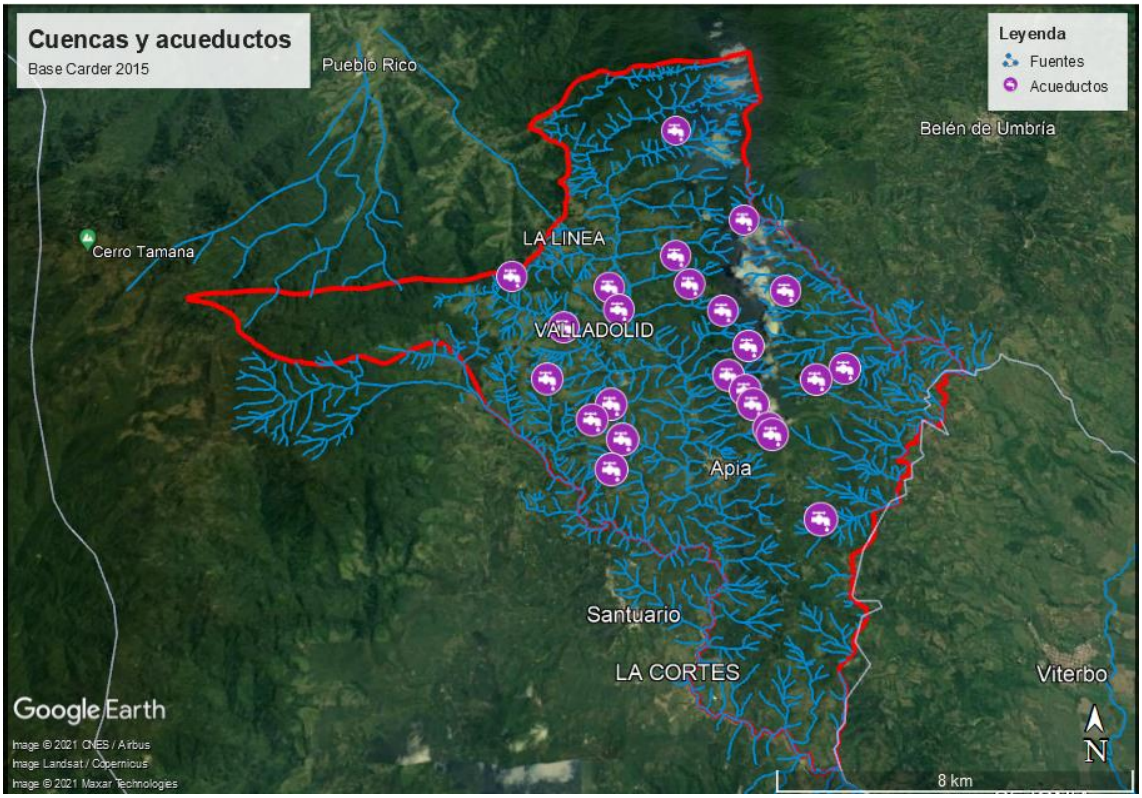
Las condiciones ecosistémicas, su topografía y la alta extensión de bosque de alta montaña, hacen que Apía beneficie con el suministro de agua a

más de 20.000 personas, a través del alto número de nacimientos y quebradas en su territorio montañoso (EVA, 2018). El agua producida en estas montañas es usada para actividades agropecuarias y consumo humano en zona urbana y rural de los municipios de Apía y Santuario Risaralda, así como Viterbo en el departamento de Caldas, pero la calidad del líquido vital, pudiera verse amenazada por la intensificación de actividades agrícolas como el cultivo de aguacate en cercanía a estas zonas boscosas con potencial hidrográfico.

El censo de municipal de acueductos actualizados al 2016, indica que Apia cuenta con un total de 44 acueductos, la mayoría de ellos en la zona rural. Sólo tres de estos acueductos cuentan con sistema completo de desinfección, teniendo la capacidad de abastecer de agua potable a 1.599 usuarios (55,9%). Los otros 40 acueductos cuentan con diferentes niveles de tratamiento: 27 acueductos que abastecen a 1.142 usuarios (39,9%), se componen de una captación, un tanque desarenador, una caseta de cloración y una red de distribución; 15 acueductos, que atienden a 118 usuarios (4,12%) no cuentan con caseta de cloración. Por su tamaño y tecnología, los sistemas de tratamiento de agua potable en Apía se clasifican de la siguiente manera: acueductos (26); mini-acueductos (12) y abastos (6). (Diagnóstico EOT, 2021).

En la imagen 4., se puede apreciar el mapa de cuencas y acueductos en el territorio municipio de Apía, allí se evidencia que todas las veredas no cuentan con un sistema básico de tratamiento a pesar la abundante oferta hídrica.

Imagen 4. Mapa de cuencas y acueductos del municipio de Apía



Fuente: SIAE, 2015

El sistema de acueducto del municipio de Apía para su zona urbana, se abastece de dos cuencas hidrográficas ubicadas en la vereda Agua Linda sobre las quebradas: Santa Isabel y Agua Linda, contiguo a la reserva natural o Distrito de Manejo Integrado Agua Linda.

En la zona rural la composición es diversa, a continuación, se presenta una caracterización detallada de las fuentes abastecedoras de agua en el municipio a partir de información recolectada por la secretaría de planeación municipal.

La secretaría de planeación del municipio de Apía realizó la actualización del inventario de acueductos del sector rural en el año 2021, entregando como resultado un total de 43 acueductos, de los cuales apenas 8 cuentan con concesión de aguas, es decir; que se encuentran legalizados ante la autoridad ambiental y a los que pudiera realizarse algún tipo de control y seguimiento a la calidad del agua para consumo. De la totalidad de los acueductos censados, apenas 4 cuentan con Plan de Uso Eficiente y Ahorro de Agua PUEA, pero, además se debe resaltar que no se alcanza a dar cobertura a toda la población

rural, pues en total son 45 veredas que demandan agua de calidad y los 43 acueductos censados apenas brindan el líquido vital al 75% de la población campesina, los demás habitantes usan fuentes propias o nacimientos de agua que no reciben ningún tipo de asistencia. (Planeación municipal, 2021)

Frente al presente estudio debe decirse que, entre los resultados importantes del censo de acueductos realizado por la alcaldía municipal, puede precisarse que para la vereda Campo Alegre no se registra acueducto veredal, mientras que para la vereda Las Cabañas cuenta con acueducto pero que su fuente de bastecimiento no tiene concesión de agua vigente. En anexo de tablas se presenta el discriminado del Censo acueductos municipales sector rural Apia 2021.

La vereda Campo Alegre, no cuenta con acueducto por lo cual las familias que habitan este territorio se abastecen de manera directa de nacimientos y quebradas sin ningún tipo de tratamiento. Así mismo, se observa que en la vereda Las Cabañas, se ubica la quebrada el Contento, que además de abastecer las familias de esta zona rural de Apía, surte el acueducto de la zona urbana de Viterbo Caldas, que cuenta con más de 10.000 habitantes en su cabecera. (Planeación municipal, 2021)

La secretaría de planeación del municipio de Apía y la Corporación Autónoma Regional CARDER, clasifican las fuentes abastecedoras de agua en tres microcuencas que nutren los acueductos rurales y urbanos.

Micro cuenca del río Apia: se encuentra al norte de la cabecera municipal. Aflora en el alto de Pela huevos, dentro de la cuchilla del San Juan en límites con el municipio de Belén de Umbría. Está conformado por las quebradas: La Mecenia, La Negra, Agua Bonita, La Samaria, Campo alegre, Sonadora, La Nubia, Lucero, Cajones, La Cristalina, La Cruceta, Muñetón, Ceci, La Soledad, La Maria, El Lolo, Agua Linda, La Popa, Hospital, Magdalena, La Pradera, La Bruja, La Farallona, El Tapón, La Clara, Mellizas y Risaralda.

Micro cuenca del río San Rafael: está conformada por las quebradas Santabárbara, El Encanto, La Desgracia, La Liberia.

Micro cuenca del Río Guarne: se encuentra al Oriente del área municipal. Está Conformada por las quebradas: La Soledad, El Oso, San Andrés, El Contento, Sabaletas, Julia, La Máquina. (Plan de Desarrollo Apia Risaralda, 2020).

Estas tres microcuencas abastecen la gran cuenca del rio Río Risaralda, de gran importancia para la región eje cafetero; y que cuenta además con su propio plan de ordenación y manejo (POMCA, 2018). Tal es la importancia de estas microcuencas, que instituciones del orden público han comprado predios cercanos garantizar su protección.

La secretaría de desarrollo económico del municipio de Apía es la dependencia que tiene a cargo el sector de ambiente y desarrollo sostenible, esta oficina presenta un inventario de predios adquiridos para la protección de fuentes hídricas con corte al año 2021, relacionando 50 predios, de los cuales solo uno se encuentra en el área de estudio y corresponde al predio San Antonio en la vereda las Cabañas, con un área de 453 Ha y con objeto de protección a la corriente hídrica “Quebrada NN”. (Secretaría de desarrollo económico, 2021)

En el anexo de tablas se relacionan los predios adquiridos en el municipio de Apía para la protección de fuentes hídricas. Allí se pueden identificar los predios adquiridos por el estado para la protección de fuentes de agua de gran importancia, pero resalta la ausencia de terrenos en las veredas Las Cabañas, y Campo Alegre, a pesar de las condiciones aquí expuestas, como lo expresa la evaluación agropecuaria municipal a través de sus informes de ocupación de ocupación y uso del suelo rural, que en este caso pudieran representar un alto riesgo para la calidad del agua tras su cercanía a cultivos de alta montaña como el aguacate en la zona en cuestión.

2. Afectación en la calidad del agua a causa del uso de agroquímicos

Apenas el 2,5% de agua de la tierra, se considera como agua dulce y de la totalidad de esta porción, tan solo el 1% corre por cuencas hidrográficas desde las montañas a través de afluentes como nacimientos arroyos y ríos, el proceso de reposición de esta agua debe darse con el ciclo hidrológico. (CONAGUA, 2010).

Prieto (2004) menciona que la contaminación del agua puede considerarse como una alteración a causa de sustancias o elementos externos, entre los que deben contemplarse desechos líquidos y sólidos por acción natural o antrópica y gases residuales

En Colombia, según el decreto 475 de 1998, la calidad del agua determina su aceptación para el uso y consumo, debiendo ser esta, libre de patógenos y sustancias tóxicas que puedan constituir un factor de riesgo para las personas. La presencia de compuestos fluoroorgánicos persistentes, incluidos el sulfonato de perfluorooctano (PFOS) y el perfluorooctanoato (PFOA), representan un importante factor de contaminación en las aguas. Jin *et al* (2009), señala que las actividades antrópicas, inciden en la presencia de PFOS y PFOA en muestras de agua del grifo recolectadas en varias regiones de China mediante, tras su extracción en fase sólida y cromatografía líquida-espectrometría de masas.

Así mismo, Fu *et al (2003*), considera que la presencia de contaminantes orgánicos persistentes COP en el agua, se debe al desarrollo de actividades industriales y agrícolas, debido al uso de productos químicos, así lo revela su investigación en el delta del río Perla en China. Esto también lo demuestra Yunker y Macdonald (2002), al distinguir las proporciones de contaminantes en el agua de fuentes naturales y antropogénicas en el río Fraser, Columbia Británica.

El cultivo de aguacate se considera con una alta demanda de pesticidas para el control fitosanitario de la fruta, siendo los de tipo sintético los más utilizados (Burgos, 2011). El autor resalta que los pesticidas sintéticos contienen o son aplicados con disolventes y adyuvantes con un cierto nivel de toxicidad, que en ocasiones es superior al del componente activo.

Triana y Gutiérrez (2016), realizó evaluación de impacto ambiental del cultivo de aguacate Hass en el municipio de La Calera en el departamento de Cundinamarca, Colombia, encontrando que para el recurso hídrico, se presenta impacto negativo en alteración de la calidad físico-química, contaminación del recurso hídrico, disminución del recurso hídrico, e interferencia de cuerpos de agua, siendo estos dos últimos elementos los más afectados en su calificación

para las variables evaluadas, cobertura, magnitud, duración, tendencia, mitigabilidad e importancia.

Dentro de las grandes problemáticas de la expansión del aguacate en el estado de Michoacán se deben considerar, la destrucción de hábitats, así como la contaminación por fertilizantes y agroquímicos, identificando un deterioro en la calidad del agua e interrupción del ciclo hidrológico (Gómez-Tagle, 2018).

Los efectos de la presencia de agroquímicos en el agua, se pueden notar en el deterioro de la salud humana y el daño directo a los ecosistemas, los modelos de aplicación en el cultivo facilitan su dispersión al ambiente. Álvarez (2019) identificó que en con el uso de pesticidas, las partículas tóxicas son suspendidas en el aire, llevadas a través del viento a diferentes zonas logrando contaminarlas, causando graves daños a la especie animal, vegetal y a los recursos naturales.

La actividad aguacatera en Michoacán México empezó a acrecentar la contaminación ambiental desde que inició la intensificación de los sistemas de fertilización (Ayala y Villafán, 2012). Esta situación se da debido a la alta demanda de nutrientes en sistemas intensivos, García (2003), menciona que el aguacate tiene grandes exigencias en nitrógeno, por lo que en el cultivo convencional es fácil generar una contaminación de las aguas por nitratos si no se controlan las cantidades ni los fertilizantes a aplicar. El nitrógeno es muy importante en los cultivos, pero los fertilizantes nitrogenados del mercado no son asimilados en su totalidad por la planta, dejando gran parte del compuesto químico en el ambiente (Kamal, 1982).

Otro agroquímico implementado en la agricultura y específicamente en cultivos como el aguacate, para el control de malezas, es el glifosato. Ermakova *et al* (2010), resalta que los estudios realizados en los años 80 con Roundup, nombre comercial de un producto catalogado como glifosato, permitieron calcular un tiempo de degradación que puede superar los 20 días después de su aplicación. Ruiz (2012), afirma que las practicas inapropiadas con este agroquímico, incrementa la posibilidad de obtener residuos en agua y generar afectaciones a la salud humana.

La solubilidad de los agroquímicos en el agua es una propiedad que determina su cinética ambiental y con ello se valida la afectación antrópica de ecosistemas como el acuático.

Los agroquímicos con solubilidad acuosa mayor a quinientas partes por millón, presentan una alta movilidad en todos los elementos de un ecosistema, haciendo que se presenten importantes concentraciones en ecosistemas acuáticos, este es el caso de los organofosforados, que, al considerarse altamente solubles aumenta la posibilidad de contaminar fuentes de agua (Badii *et al.,* 2005)

El nivel freático en zonas de alta montaña como la que aquí se estudia, suele encontrarse de manera superficial, motivo por el cual en términos de ordenación territorial e hidrográfica se considera como de interés para la protección y producción de agua, algo que en Apía se afecta con la aparición de modelos de producción agrícola intensiva y extensiva como el aguacate Hass. Morales (2013), analizó el riesgo por contaminación con agroquímicos en la cuenca del río San Blas en Costa Rica, encontrando entre sus resultados, que las aguas subterráneas en zonas agrícolas presentan una concentración de nitritos tres veces superior a las halladas en zonas protegidas, además encontró glifosato en canales de irrigación agrícola.

La utilización del enfoque de cuencas hidrográficas es fundamental, para entender y atender la problemática del posible impacto de la actividad aguacatera sobre los componentes del ecosistema, los recursos naturales y el medio ambiente. (Burgos & Anaya, 2011).

La temática hidrográfica frente a nuestro problema de investigación, guarda relación con la calidad del agua, para lo cual hoy se utilizan diferentes métodos que permiten calcular sus variaciones. ShengWen *et al (*2003), estudió la calidad del agua y las reacciones fotocatalíticas con medidas de demanda química de oxígeno, espectrofotómetro UV-VIS, espectrómetro infrarrojo y técnicas analíticas GC-MS para monitorear los intermedios formados, considerando además factores con incidencia como el pH.

Según la Ley 1196 de 2008, el ICA vigila y controla el uso de contaminantes orgánicos y clasifica los agroquímicos en categorías para evitar

problemas ambientales. En este caso los productos con categorías prohibidas en Colombia son importados de contrabando y aplicados en los cultivos para disminuir costos de producción por su bajo costo, sin importar el daño ambiental. Igual pasa con la Ley 822 de 2003 que regula los agroquímicos genéricos y la Ley 960 de 2005 que regula las sustancias que agotan la capa de ozono.

Frente a la calidad de agua en la zona rural, en Colombia no existe una normativa que exija análisis de agroquímicos, a pesar de que en el ambiente hay presencia permanente de estas sustancias.

El ministerio de salud y protección social, ministerio de vivienda, ciudad y territorio, mediante la resolución 622 de 2020, adopta los protocolos de inspección, vigilancia y control de la calidad del agua para el consumo humano, suministrada por personas prestadoras del servicio público domiciliario de acueducto en zona rural. Sin embargo, gran parte de los acueductos rurales en Colombia son comunitarios, es el caso del municipio de Apía. Ante esta situación, no se puede ajustar a la normativa, al no cumplir con la condición de prestador de servicio de manera legal, los campesinos se privan de la posibilidad de realizar controles más exhaustivos y detallados que puedan determinar la calidad del agua para su consumo en garantía de unas condiciones dignas de vida.

3. Descripción del método implementado para la recolección de muestras de agua y su respectivo análisis.

Para realizar el análisis de calidad del agua en el territorio, se recogieron dos muestras de agua, una por cada vereda, en dos periodos de tiempo diferente, primero al finalizar el periodo de lluvias, luego durante la temporada seca, para esto se garantizó un proceso inocuo con la utilización de frascos estériles, lo cuales fueron cubiertos con papel para evitar alteraciones por contacto con la luz. Se tuvieron los cuidados pertinentes al momento de la recolección en la fuente de agua y se garantizó un transporte rápido y seguro además de refrigeración hasta el laboratorio ubicado en la cede de del Centro de Innovación y Productividad CIP de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD en la ciudad de Dosquebradas Risaralda.

La selección de los sitios para la toma de muestras, se realizó a partir del análisis previo del territorio en compañía de los productores y campesinos de la zona, que sirvieron de apoyo orientando el reconocimiento del lugar, para esto se contemplaron aspectos como la cercanía de la fuente de agua al cultivo, uso de la fuente hídrica para el consumo humano y variaciones en la aplicación de insumos agrícolas entre los dos lugares.

La primera toma de muestras se realizó el 13 de julio de 2023, (al finalizar el periodo de lluvias) con horarios de 6:40 am para el primer sitio en la vereda Campo Alegre y 7:40 am para el segundo sitio en la vereda Las Cabañas. Ambas muestras fueron empacadas en caja refrigeradora y transportadas con los cuidados pertinentes, siendo la hora de llegada al laboratorio las 9:40 am.

La segunda toma de muestras fue realizada el 2 de febrero de 2024, (durante el periodo seco) con horarios de 6:10 am para el primer sitio en la vereda Campo Alegre, mientras que en la vereda Las Cabañas fue tomada a las 7:10 am, las condiciones en la recolección y transporte fueron las mismas al primer muestreo, por su parte la hora de llegada al laboratorio fue a las 8:15 am.

Una vez se ingresa, se opera el equipo multiparamétrico (Hanna HI98194), se introduce el electrodo en el frasco y se selecciona en el equipo cada parámetro para el análisis de manera manual. Después de 60 segundos, se logran los datos con precisión para las variables pH, POR, OD (%), OD (ppm), Conductividad, T° y STD.

Adicionalmente, se realizó en cada muestra un chequeo con el método KIT Freshwater Master Test, mecanismo básico que, mediante colorimetría tras el contacto de la muestra con las sustancias del test, calcula rangos para los parámetros pH, Amoniaco, Nitritos y Nitratos.

Para la medición de pH con este test, se llenó un tubo de ensayo limpio con 5 ml de la muestra de agua, luego se añadieron 3 gotas de pH test solution, manteniendo el frasco en posición vertical, luego se colocó el tapón y agitó durante 20 segundos para luego hacer la lectura con la carta de color.

En la lectura de amoniaco, se hace el mismo proceso, anexando 8 gotas de amonio test solución agitándose durante 5 segundos, para esta lectura es necesario esperar 5 minutos.

La medición de nitritos se realizó con el mismo procedimiento en tubo de ensayo, pero adicionando 5 gotas de nitritos test solución, agitando también durante 5 segundos y esperando 5 minutos para su lectura.

Con el test de nitratos, el procedimiento se diferencia en que se añadieron 10 gotas del nitrato test solution, agitando durante un minuto y esperando 5 minutos para su lectura.

La imagen 5., deja ver el procesamiento de las muestras de agua en el laboratorio de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, en el Centro de Investigación en Agricultura y Biotecnología CIAB del CIP Dosquebradas.

Imagen 5. Procesamiento de muestras en laboratorio

Fuente: Propia

En el proceso de toma de muestras en campo los puntos se describen con precisión de la siguiente manera:

Vereda Campo Alegre: Las muestras fueron tomadas en el mismo lugar, de manera precisa en la quebrada Campo Alegre desde su afloramiento en la finca Sierra de Greenwich, predio dedicado al cultivo de la variedad Hass a gran escala, a una altitud de 2263 m.s.n.m y en latitud N 5°7'6.16764'' y longitud W 75°55'36.40764''. Como característica, se debe decir que el lugar exacto de recolección, se encuentra a unos 70 m del cultivo de aguacate Hass y que, tras entrevista con los trabajadores del predio se obtuvo información importante de cara a las practicas realizadas de manera previa en el cultivo. Al momento de la primera muestra habían transcurrido tres meses desde la última aplicación de agroquímicos en el cultivo, algo poco común, pues esta producción demanda aplicaciones constantes, pero se afirma en su momento, una suspensión temporal de este tipo de actividades por asuntos económicos y administrativos. Ya para la segunda muestra, en el mes de febrero, se informa de una aplicación de herbicidas en el mes anterior.

Para la muestra en el mes de julio, la quebrada en su punto de muestreo se observa con buena cobertura vegetal y aspecto natural, además de presentar un caudal abundante. Ya en el mes de febrero, en el segundo muestreo, se observan condiciones similares en la cobertura vegetal, pero puede observarse una aparente reducción del caudal, algo común en periodos secos prolongados según los campesinos de la zona.

Este afloramiento es aprovechado por al menos 12 familias campesinas para su consumo y actividades agrícolas aguas abajo, no cuenta con ningún tipo de control o tratamiento al no contemplarse como acueducto rural, por lo cual la toma de agua es de manera directa.

Vereda Las Cabañas: Las muestras fueron tomadas en el mismo afluente, en la quebrada Las Cabañas desde su afloramiento en el predio La Divisa, más concretamente, a una altitud de 2283 m.s.n.m, en latitud N 5°7'4.84536'' y longitud W 75°55'34.89744''. Dentro de las generalidades del sitio se debe resaltar que las muestras se realizaron en el punto preciso del nacimiento de agua, estando este a unos 80 m aproximadamente del cultivo de aguacate, el propietario del predio fue entrevistado previamente, mostrando su interés en la investigación y dejando información importante como la confirmación en la aplicación de glifosato de manera selectiva para atacar las

arvenses en torno a los árboles de aguacate, este procedimiento según el señor Ariel Álvarez, propietario de finca, se realizó un mes antes del primer muestreo y apenas unos 15 días antes de la segunda toma de muestras.

El propietario refiere dentro del manejo más recurrente de su cultivo, el control de malezas, también manifiesta un retraso en el proceso de fertilización debido a dificultades financieras. Se debe recalcar que este predio a diferencia del ubicado en la vereda Campo Alegre, pertenece a un pequeño productor, algo que puede significar un uso más moderado de agro insumos.

El punto de muestreo se presenta con buena vegetación, aunque un poco más descubierto y con una pendiente menos pronunciada. La fuente de agua sirve de suministro a unas 15 familias campesinas en las veredas Las Cabañas y San Andrés sin realizarse ningún tipo de tratamiento para su potabilización. Dentro de las condiciones diferenciales de los dos muestreos en esta fuente de agua también se presenta una significativa reducción del caudal en la temporada seca frente a lo observado con anterioridad en el mes de julio.

En la imagen 6., se puede pueden observar las fuentes de agua al momento de la toma de muestra tanto en el periodo de lluvias como en el periodo seco.

Imagen 6. Recolección de muestras en campo

Fuente: Propia

pc

4. Resultados del análisis de calidad del agua en las veredas Las Cabañas y Campo Alegre del municipio de Apía Risaralda (Colombia).

Los resultados se expresan en primera instancia con el abordaje de los valores obtenidos para cada parámetro de manera individual por fuente de agua, para esto se presentan tablas que describen el método, los parámetros con sus resultaos y la temporada en que se realizó la muestra. Posteriormente, en la discusión de resultados se presentará una tabla para cada parámetro con los valores obtenidos frente a los rangos permitidos según la normativa.

A continuación, se detallan los resultados encontrados para la muestra correspondiente a la vereda Campo Alegre.

Tabla 4. Resultados análisis de agua vereda Campo Alegre con método multiparámetro en el mes de julio 2023

PARÁMETRO	RESULTADO
pH	7,20
ORP	394,7 mV
OD (%)	44
OD (ppm)	3,62
Conductividad	1013
T°	17,6 C°
TDS	1 ppm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Resultados análisis de agua vereda Campo Alegre con método multiparámetro en el mes de febrero 2024

PARÁMETRO	RESULTADO
pH	6,7
ORP	212,7 mV
OD (%)	79
OD (ppm)	6,18
Conductividad	3067
T°	19 C°
TDS	1520 ppm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Resultados análisis de agua vereda Campo Alegre con método KIT Freshwater Master Test, mes de julio 2023

PARÁMETRO	RESULTADO
pH	7,2 - 7,4
Amoniaco	0
Nitritos	0
Nitratos	5 ppm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Resultados análisis de agua vereda Campo Alegre con método KIT Freshwater Master Test, mes de febrero 2024

PARÁMETRO	RESULTADO
pH	6,6 - 7,4
Amoniaco	0
Nitritos	0
Nitratos	5 ppm

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se detallan los resultados encontrados para la muestra correspondiente a la vereda Las Cabañas.

Tabla 8. Resultados análisis de agua vereda Las Cabañas con método multiparámetro, mes de julio 2023

PARÁMETRO	RESULTADO
pH	5,7
ORP	400 mv
OD (%)	62,7
OD (ppm)	4,9
Conductividad	36
T°	18,6 C°
TDS	18 ppm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Resultados análisis de agua vereda Las Cabañas con método multiparámetro, mes de febrero 2024

PARÁMETRO	RESULTADO
pH	5
ORP	305 mV
OD (%)	75,5
OD (ppm)	6,19
Conductividad	40
T°	17 C°
TDS	20 ppm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Resultados análisis de agua vereda Las cabañas con método KIT Freshwater Master Test, mes de julio 2023

PARÁMETRO	RESULTADO
pH	6 - 7,4
Amoniaco	0
Nitritos	0
Nitratos	5 ppm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Resultados análisis de agua vereda Las cabañas con método KIT Freshwater Master Test, mes de febrero 2024

PARÁMETRO	RESULTADO
pH	6 - 7,4
Amoniaco	0,25
Nitritos	0
Nitratos	0

Fuente: Elaboración propia

5. Discusión de resultados para análisis de agua

Para hacer un análisis claro de los resultados obtenidos en el análisis de las muestras de agua, es necesario confrontar con los estándares normativos de los parámetros para agua de consumo humano en Colombia. La norma vigente que señala las características en la calidad del agua para consumo humano es la resolución 2115 de del 22 de junio de 2007, emitida por el Ministerio de la protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

La resolución 2115 de 2007 “Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”, servirá para confrontar los parámetros pH, conductividad, nitritos y nitratos, que son específicos en el documento y se encuentran dentro de las variables analizadas en el presente estudio. El oxígeno disuelto (OD), se confronta con los valores presentados en la resolución 1096 del 2000 “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS" al no estar explicito en la resolución 2115, así como los parámetros Sólidos Totales Disueltos (STD), Potencial Redox (POR) y T° en los que se usará con referencia los valores sugeridos por la OMS.

A continuación, se hace una discusión frente a cada uno de los parámetros evaluados y los valores de referencia con que se confrontan para determinar la probable incidencia de las prácticas del cultivo de aguacate Hass en la calidad del agua para los afluentes tomados en las veredas Campo Alegre y Las Cabañas del municipio de Apía.

5.1 Potencial de Hidrógeno (pH)

La unidad de medida para este parámetro es unidades de pH. Esta medición es una de las más comunes en laboratorio debido a su importancia y la relación o dependencia de los procesos químicos con esta.

Los cambios en el pH pueden darse por múltiples factores entre los que destacan el lavado de minerales, la minería y los desechos de productos químicos (Guzmán et al., 2015). Entre los factores expuestos por los autores, el posible contacto con insumos agrícolas es el más probable para el presente trabajo.

El Potencial de Hidrógeno (pH) es de las variables más determinantes en la medición de la calidad del agua, al guardar una estrecha relación con la actividad que representa la vida acuática y demás usos del agua como el consumo humano (Universidad de Florida, 2005).

Para el presente estudio este parámetro fue evaluado con dos métodos, el multiparámetro y mediante KIT Freshwater Master Test, este último se hace mediante aproximación por colorimetría y se expresa en rangos, por lo cual se tomará como referencia el resultado obtenido mediante el equipo multiparamétrico (Hanna HI98194), al ofrecer más precisión para la variable en cuestión. Se confrontará con los valores expresados en resolución 2115 de 2007, como los permitidos para agua destinada al consumo humano.

Tabla 12. Resultados y rangos permitidos para el parámetro pH

Resultado vereda Campo Alegre	**Resultado vereda Las Cabañas**	**Valor permitido (Resolución 2115)**
7,20 (julio) 6,7 (febrero)	5,7 (julio) 5,0 (febrero)	6,5 – 9,0

Fuente: Elaboración propia

Los diferentes textos de literatura asociada relacionan los valores menores a 6,5 como un pH acido o posiblemente corrosivo. De esta manera, se puede decir que la escala del pH puede variar en sus valores del 0 al 14, considerándose 7 como un valor de pH neutro, menos de 7 con tendencia a ácido y arriba de 7 se entendería como más alcalino. (Rivera y Domínguez, 2018).

Entre las diferentes características del pH, se debe destacar que en algunos rangos puede facilitar o incrementar la eficiencia para la remoción de los contaminantes. Arango (2012), concluye que las mayores remociones se obtienen en valores de pH cercanos a 7, destacando la mejor remoción de arsénico en valores que oscilan entre 6 y 8 y las mejores remociones de turbiedad y DQO en las aguas de la industria textil se dan a pH entre 7 y 9.

Los resultados presentados en la vereda las cabañas (7,20) y (6,7) se encuentran dentro del rango permitido por la normatividad colombiana para el agua de consumo humano. Esto puede deberse al mayor tiempo transcurrido en la aplicación de insumos agrícolas en el predio muestreado, que pudieran afectar el pH natural de la fuente, pero además deben considerarse otras variables como las características propias del suelo en el sitio. No obstante, en la segunda muestra se ve una importante reducción de valores que lleva el resultado al límite permitido, aquí, debe considerarse que, al momento de la toma de esta muestra, transcurrió menor tiempo entre la recolección y el control de malezas con agroquímico, también debe tenerse en cuenta la temporada seca en el mes de febrero como factor diferencial.

Para las muestras tomadas en la vereda Las Cabañas, el resultado obtenido es de (5,7) y (5,0). Este pH no se encuentra dentro de los rangos permitidos por la ley colombiana para agua de consumo humano. Para Cortijo (2013) “a valores de pH menores que 6.3, el agua es corrosiva por tener presentes concentraciones de CO2 disuelto mayores a la concentración que las de ion bicarbonato presente; y que a pH mayores que 8.3” (p.227).

Al igual que en la vereda Campo Alegre, la muestra tomada en la temporada seca en la vereda las Cabañas muestra reducción en sus valores. Fernández y Guardado (2021), encontró importantes diferencias en el pH del

agua del río Cabaña en Cuba, al recolectar muestras en el periodo de lluvias y periodo seco en su estudio de índices de calidad de agua, en sus consideraciones se presenta el tipo de manejo del suelo en la temporada seca y el comportamiento de la vegetación en sus riveras.

Al considerarse las muestras tomadas en la vereda Las Cabañas con un pH ácido, deben tenerse en cuenta los posibles efectos que esto pudiera causar sobre la salud, entendiendo que de la fuente de agua se abastecen al menos 15 familias campesinas.

Los valores ácidos de pH en agua de consumo pueden significar mayor riesgo para el organismo, generando afectaciones directas sobre tejidos como garganta, esófago, ulceras y daños en el sistema digestivo (Liso *et al*., 2000)

Entre las afectaciones se puede destacar la salud oral o dental. Suh (2013) pudo concluir que el agua y demás bebidas con pH acido tienden a desmineralizar el esmalte dental, generando erosión en los dientes y propiciando la aparición de caries.

Por su parte Masivos, E. P (1995), determina dentro de los factores de riesgo para la salud oral, el factor ambiental en el que prima el abastecimiento de agua de deficiente calidad. En el mismo estudio se puntualiza que para la enfermedad de caries dental, uno de los más relevantes factores de riesgo es la viscosidad de la saliva y el pH para los casos en que se encuentra bajo.

Si bien los diferentes estudios requieren precisar aspectos como la cantidad de agua ingerida, posibles mezclas con otras sustancias y rangos de pH más concretos, logra identificarse uno de los aspectos tenidos en cuenta por las autoridades sanitarias para determinar los rangos permitidos de pH en el agua para el consumo humano, al vislumbrarse los posibles problemas para la salud al no estar dentro de las categorías sugeridas (pH entre 6,5 y 9), algo que puede evidenciarse en la muestra tomada en la vereda las Cabañas.

Frente a los efectos en el sistema digestivo por consumo permanente de agua con pH ácido, se debe considerar que un pH por debajo de 6,5 pudiera propiciar medios para grandes concentraciones de metales y afectar los microorganismos benéficos.

El consumo de agua con un pH bajo o tendencia hacia la acidez, en relación con iones dominantes que superen la concentración permitida o alteraciones en la conductividad, pudieran generar irritación en la mucosa del estómago e intestinos (Argotti, 2021)

Macedo (2022), en su estudio de contaminación de las aguas de la quebrada Camaná en Perú, identificó que el parámetro pH no cumplía con los estándares de calidad de agua para consumo humano y en relación encontró que el 46% de la población del área de influencia, presenta con frecuencia enfermedades de tipo digestivo.

No obstante, debe aclararse que para considerar el pH ácido como perjudicial para la salud mediante el consumo de agua, es necesario entender los diferentes procesos químicos y fisiológicos que pueden ser completamente diferentes en cada organismo e interrelacionados con otras sustancias ingestadas, o variaciones en la dieta. Liso *et al* (2000) Concluye que “observar el pH de algunos alimentos y reforzar la idea de que este no determina el perjuicio o el beneficio que puedan hacer sobre el organismo de manera directa” (p.458)

En cuanto a lo que pude estar causando esta alteración del pH en la fuente de agua evaluada Las Cabañas y su posible relación con el cultivo de aguacate Has cercano, debemos remitirnos a la potencial relación con compuestos químicos presentes en los insumos agrícolas utilizados en este cultivo. Sin embargo, debe aclararse que el presente estudio es básico y apenas hace la comparación de resultados para parámetros como el pH con los rangos permitidos en la norma, para determinar con precisión estos posibles elementos presentes en el agua se debe realizar con métodos especializados como la espectofotometría.

Entre los causales puede estar el glifosato, insumo usado un mes antes de la muestra en el cultivo de aguacate aledaño a la fuente de agua analizada. Farestaie (2015) se refiere a la formulación comercial del glifosato como “una mezcla acuosa como sal de isopropilamonio (IPA), un surfactante y varios componentes menores que incluyen agentes antiespumantes, biocidas e iones orgánicos que están para ajustar el pH.”

Una característica de este producto es su resistencia a la degradación debido al enlace carbono-fosforo inerte en la molécula (Chekan, Cogan y Nair, 2016). Según Mamy, Barriuso y Gabrielle (2016), se descompone por el material vegetal muerto y desde allí empieza su movilidad en el suelo, algo que hace unos años Monsato, la multinacional productora de este insumo, consideraba poco probable.

Las precipitaciones y los procesos erosivos pueden transportar partículas de suelo con glifosato a las fuentes de agua, pudiendo mantenerse de forma particulada o disolverse (Rendon-von Osten y Dzul-Caamal, 2017).

Por su parte Macedo (2022) considera que las fuentes superficiales de agua pueden presentar pH acido por la presencia de SO2, CO2 disueltos. Si bien estos no hacen parte de la composición del glifosato, los azufres son muy comunes en las mezclas con fertilizantes nitrogenados en el cultivo de aguacate.

5.2 Potencial Redox (POR)

El potencial Redox (POR) es una medida que permite calcular la energía química de oxidación-reducción pasándola a energía eléctrica mediante un electrodo. Normalmente se expresa en mili voltios (mV) y se interpreta como potencial de oxidación o reducción.

La Organización Mundial de la Salud OMS, recomienda como valor de POR para vigilancia microbiológica del agua, valores mayores a 650 mV. Así se determinó desde 1971 al considerarse como el valor adecuado para agua potable, de esta manera se entiende que los valores por encima a 650 pueden garantizar una correcta desinfección del agua. OMS adoptó en 1972 la medida del POR como la más fiable para medir la calidad sanitaria del agua potable.

Internacional Standards for drinking wáter (Tercera edición, Ginebra, 1971) afirma: “Hay una relación exponencial entre la velocidad de inactivación de los virus y el POR. Un POR de + 650 mV provocara la casi instantánea desactivación de los virus incluso en altas concentraciones”

El POR permite calcular de una manera muy precisa la oxidación y reducción de diferentes especies químicas (Zúñiga y Palomares, 2016).

El potencial redox debe considerarse entre los parámetros más importantes dentro del monitoreo de calidad del agua potable para zonas rurales (Conejeros *et al.,* 2021).

Tabla 13. Resultados y rangos permitidos para el parámetro POR

Resultado vereda Campo Alegre	**Resultado vereda Las Cabañas**	**Valor establecido por OMS**
394,7 mV (julio) 212,7 mV (febrero)	400 mV (julio) 305 mV (febrero)	+ 650 mV

Fuente: Elaboración propia

Los resultados para el parámetro ORP en las dos fuentes de agua analizadas se muestran por debajo del valor establecido por la Organización Mundial de la Salud OMS, siendo los de la vereda Campo Alegre los valores más bajos con (397 mV) y (212,7 mV), resultados similares presenta la vereda Las Cabañas con (400 mV) y (305 mV). Ambos resultados prenden las alarmas frente a lo que puede significar el riesgo por contaminación, más aún en las condiciones de consumo directo de la fuente, sin ningún tratamiento como es el caso de las familias campesinas que aprovechan las dos fuentes de agua descritas en el estudio.

En el aprovechamiento de las fuentes de agua analizadas no existe tratamiento de cloración, siendo esto significativo en el control de virus y bacterias gracias las características oxidantes del cloro. Frente a la relación del del POR y la desinfección con cloro se afirma que “Como el poder desinfectante del cloro está directamente relacionado con su capacidad oxidante, el POR del agua clorada indica su capacidad y rapidez para matar patógenos en el agua” (Veramendi, 2021, p. 9).

Respecto a la relación de los bajos valores de POR encontrados en las fuentes de agua analizadas, con los cultivos de aguacate contiguos a los sitios de muestreo, se requiere hacer un análisis más profundo que logre determinar presencia de agroquímicos, sin embargo, es posible encontrar algunos aspectos que coinciden con tal comportamiento.

Según el Centro para el Control de Enfermedades (CDC) de los estados unidos (2019), los principales factores que afectan el valor de POR en las fuentes de agua son los desechos orgánicos, el pH, el ácido isocianúrico y los fosfatos.

Ante esto, es necesario ilustrar que el fosfato es un compuesto en gran parte de los fertilizantes utilizados en el cultivo de aguacate, tanto foliares como granulados para aplicación directa en tallo y raíz.

Las dos fuentes de agua ubicadas en las veredas Campo Alegre y Las Cabañas tienen como característica su cercanía a cultivos de aguacate Has relativamente jóvenes, ambos están en el orden de 3 a 5 años desde su siembra, es decir, al encontrarse en etapa de crecimiento, su demanda en fosforo debió ser alta.

Después del nitrógeno (N), el fosforo (P) es el nutriente más limitante en las plantas, por lo cual es el más recomendado en los paquetes tecnológicos para cultivos jóvenes (Gebrim *et al.,* 2010).

El nitrógeno y el fósforo son los elementos minerales más usados en la fertilización del aguacate al relacionarse con mayor crecimiento de las plantas y mejores niveles de producción, sin embargo, los excesos en su uso pueden generar lixiviación de nutrientes no absorbidos por las plantas hacia afluentes o aguas subterráneas. (López y Rubicel, 2015).

Para abordar casos similares, se puede citar a González *et al* (2023) en su evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo humano a comunidades rurales altoandinas en Perú que destacan por la cercanía de los afluentes con cultivos agrícolas, allí el resultado para POR se encontró también por debajo de lo permitido con 350 mV, por lo que el autor lo enmarca como susceptible a la propagación bacteriana.

5.3 Oxígeno Disuelto OD

El oxígeno disuelto OD, se entiende como la cantidad de oxígeno gaseoso que puede encontrarse disuelto en el agua, es fundamental para la salud de las fuentes superficiales y sus bajos niveles son indicador de contaminación en el agua. (Peña, 2007)

Los resultados obtenidos para OD con el método multiparámetro fueron arrojados de manera porcentual (%) y en partes por millón (ppm). Para este análisis y su respectiva discusión tomaremos los resultados expresados en ppm, pues así se presentan las recomendaciones emitidas en la normativa colombiana.

La resolución 1096 de 2000, establece que el oxígeno disuelto debe ser mayor o igual a 4.0 ppm para fuentes de agua aceptable en Colombia. Los resultados de las muestras para OD, arrojan resultados de 4,9 ppm y 6,19 ppm en la fuente de agua de la vereda Las Cabañas, cumpliendo con los rangos establecidos en la norma sanitaria, mientras que el afloramiento de agua analizado en la vereda Campo Alegre presenta un resultado de 3,6 ppm en el mes de julio, por debajo del valor expresado en la norma y 6,18 en el mes de febrero al momento de la segunda muestra, valor dentro de los rangos permitidos. De manera general, los resultados de las muestras tomadas en el mes de febrero, presenta un incremento en los valores de oxígeno disuelto.

Tabla 14. Resultados y rangos permitidos para el parámetro OD

Resultado vereda Campo Alegre	**Resultado vereda Las Cabañas**	**Valor establecido en la resolución 1096 del 2000**
3,6 ppm (julio) 6,18 ppm (febrero)	4,9 ppm (julio) 6,19 ppm (febrero)	+ 4 ppm

Fuente: Elaboración propia

El primer resultado de OD en la vereda Campo alegre se muestra por debajo de los valores establecidos por las autoridades sanitarias como los óptimos en agua para consumo humano. La actividad agrícola y en especial la cercanía del cultivo de aguacate pudieran tener algún tipo de relación con esta alteración.

Bajas concentraciones de oxígeno disuelto, deben indicar contaminación de la fuente de agua en relación con la materia orgánica en descomposición (Peña *et al*., 2006). Al descomponerse la materia orgánica, indica que las bacterias toman el oxígeno para degradar los desechos (Picone *et al.,* 2003).

En el cultivo de aguacate, además de las aplicaciones de agroquímicos, se realizan labores como podas y desyerbas mecanizadas que aumentan el material vegetal en descomposición en cercanía al afluente. Para Peña *et al* (2006) los desechos orgánicos al precipitarse al fondo de los acuíferos, se descomponen por las bacterias que toman el oxígeno disuelto disminuyendo sus valores en el agua.

La incidencia de los agro insumos también debe considerarse. Torres *et al* (2019) determinó disminución de OD en fuentes de agua de fincas cafeteras del departamento del Quindío en Colombia, cercanas a los cultivos con aplicaciones permanentes de agroquímicos y vertimiento de mieles de lavado de café.

Uno de los aspectos que se determinan en la bibliografía estudiada, como relevantes en la disminución del oxígeno disuelto es la contaminación con materia orgánica, esto en los sitios de estudio puede presentarse con más facilidad en la temporada de lluvias, al encontrarse ambos afloramientos en zona de pendiente. Como se puede observar los valores de OD fueron menores en el mes de julio al terminar la temporada lluviosa, que, en febrero durante la temporada seca.

El exceso de pesticidas en la producción agrícola aumenta el riesgo de que por escorrentía se contaminen fuentes de agua, algo que puede identificarse con las bajas concentraciones de OD (Párraga y Espinel, 2010), sin embargo, es necesario realizar análisis a profundidad para determinar los elementos que generan esta contaminación mayor precisión.

Pino *et al* (2007), determinó la incidencia de las actividades agropecuarias en la calidad del agua que por escorrentía se deposita en el embalse Sixto Durán Ballén en Ecuador, encontrando que el OD sufrió gran variación frente los rangos permitidos y los valores de afluentes cercanos a bosques protegidos.

Otros factores que deben tenerse en cuenta en la alteración del oxígeno disuelto son la altitud debido a la presión atmosférica y la temperatura del agua, pues el agua fría puede guardar más oxígeno que el agua caliente (Peña 2007).

Sin embargo, es importante recordar que tanto la temperatura como la altitud, son relativamente similares en ambas muestras, por lo cual no deberían ser muy incidentes en la característica diferencial para OD de la vereda Campo Alegre.

5.4 Conductividad

La conductividad eléctrica del agua se entiende como la capacidad que esta tiene para transportar corriente eléctrica y se relaciona con las sales en disolución por su capacidad de generar iones que movilizan corriente eléctrica. (Solís *et al*., 2018).

Puede considerarse la conductividad eléctrica como un indicador en el grado de mineralización del agua y a su vez guarda una relación directa con la concentración de solidos totales disueltos STD (Boyd, 2017)

Para la normativa colombiana los valores apropiados de conductividad y las medidas respectivas ante eventuales cambios, se expresa así:

> “El valor máximo aceptable para la conductividad puede ser hasta 1000 microsiemens/cm. Este valor podrá ajustarse según los promedios habituales y el mapa de riesgo de la zona. Un incremento de los valores habituales de la conductividad superior al 50% en el agua de la fuente, indica un cambio sospechoso en la cantidad de sólidos disueltos y su procedencia debe ser investigada de inmediato por las autoridades sanitaria y ambiental competentes y la persona prestadora que suministra o distribuye agua para consumo humano.” (Resolución 2115 de 2007, artículo 3)

Los resultados obtenidos de las muestras tomadas en campo, presentan grandes diferencias en sus valores, obteniendo 1013 microsiemens/cm en la vereda Campo Alegre en el mes de julio y el alarmante resultado de 3067 en el mes de febrero. Por su parte en la vereda Las Cabañas, presentó un resultado de 36 microsiemens/cm en el mes de julio y un incremento en el mes de febrero a 40 microsiemens/cm.

Tabla 15. Resultado y rangos permitidos para el parámetro Conductividad

Resultado vereda Campo Alegre Valor en (mS/cm)	**Resultado vereda Las Cabañas** Valor en (mS/cm)	**Valor establecido por la resolución 2015 de 2007**
1013 (julio) 3067 (febrero)	36 (julio) 40 (febrero)	< 1000 (mS/cm)

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que la fuente de agua evaluada en la vereda Las Cabañas cumple con los valores establecidos en la normatividad, mientras la fuente de agua analizada en la vereda Campo Alegre presenta valores por encima de lo permitido, con la segunda muestra con un resultado más elevado e incremento exponencial frente a la muestra tomada seis meses atrás en el mismo sitio.

Algunos factores que pueden afectar la conductividad eléctrica en el agua son la geología con lo que implica las diferencias en los tipos de rocas y tierra, la temperatura y las sustancias contaminantes. (Boyd, 2017)

Las precipitaciones pueden causar disminución en, los valores de conductividad eléctrica (Rodríguez *et al*., 2010). Esto debe considerarse al identificar que la vereda Las Cabañas a pesar de estar relativamente cercana a Campo Alegre, se encuentra con influencia más directa del busque húmedo de la reserva cuchilla de San Juan, algo que puede generar una pluviosidad ligeramente más elevada.

No se puede precisar alteraciones detalladas de la conductividad por la presencia de sustancias o actividades relacionadas con el cultivo de aguacate mediante este estudio, sin embargo, se pueden asociar acciones antrópicas como la agricultura con estos cambios en la CE. Rodríguez *et al* (2010) estudió las causas de las variaciones de la conductividad eléctrica del agua subterránea en el acuífero Motril-Salobreña, España, identificando mayores cambios en las zonas con influencia directa de actividad agrícola.

Ante esta apreciación debe tenerse en cuenta que el cultivo de aguacate ubicado cerca a la fuente de agua en la vereda Campo Alegre es mayor en extensión y desarrolla prácticas de producción más intensivas que el cultivo

ubicado en la vereda Las Cabañas, por lo cual el uso de agroquímicos y demás labores, serán mayores en la vereda Campo Alegre.

5.5 Temperatura

La temperatura es tenida en cuenta dentro de los índices de calidad del agua debido a su incidencia en la variación de procesos físicos, químicos y biológicos, algo que afecta de manera directa los factores contaminantes. (Pérez y Rodríguez, 2008).

No obstante, la temperatura del agua no es un factor directo, sino que se relaciona con las características de los demás parámetros para determinar la calidad del agua, teniendo como constante su relación directa con la temperatura ambiente. (Rubio *et al.,* 2104).

Un incremento repentino en la temperatura del agua puede ser sospechoso y riesgoso para su calidad (Boyd, 2017), ante esto sería necesario hacer diferentes análisis que permitan identificar algún tipo de alteración física o química (Peña 2007).

Para los resultados de las muestras tomadas en el presente estudio, la temperatura está dentro de los parámetros normales, al encontrarse con rangos de temperatura similares a la temperatura ambiente de la zona a las épocas del año al momento de las muestras (julio y febrero), oscilando entre 17 y 19°C.

5.6 Solidos Totales Disueltos STD

Los sólidos totales disueltos hacen referencia a los minerales, sales o metales disueltos en el agua, principalmente están compuestos por iones y sus altas concentraciones pueden aumentar la turbidez, temperatura y disminuir las concentraciones de OD. (González *et al.,* 2023)

Un aumento en el STD del agua, la hace más corrosiva debido al intercambio de electrones (Rull y Floristán, 2014).

Por su parte la OMS determina como límite máximo de STD para agua de consumo humano 1000 partes por millón (ppm), describiendo los niveles ideales por debajo de 300 ppm.

Ante las apreciaciones técnicas y científicas se puede determinar que el resultado para el afluente de la vereda Las Cabañas se encuentran dentro de los rangos sugeridos por la Organización Mundial de la Salud OMS, obteniendo 18 y 20 ppm. Por su parte los resultados de la vereda Campo Alegre pasan de 1 ppm en el mes de julio de 2023 a 1520 ppm en el mes de febrero de 2024, este último valor muy por encima de lo sugerido por la OMS, por lo que se requiere un análisis más exhaustivo que logre determinar las sustancias presentes.

Los suelos erosionados producto de los desechos de las labores agrícolas intensivas se determinan como uno de los factores más importantes dentro de la contaminación de fuentes de agua, al aportar desechos orgánicos e inorgánico de gran variedad que pueden elevar las concentraciones de STD (Larrea *et al.,* 2022).

5.7 Método KIT Freshwater Master Test

Con el método KIT Freshwater Master Test, se analizaron los parámetros pH, que fue analizado también con el método multiparámetro y presentó unos rangos similares, el parámetro amoniaco que arrojó un resultado de 0 en ambas muestras en el mes de julio, mientras que el mes de febrero la muestra de la vereda Las Cabañas obtuvo un valor de 0,25 ppm y en la vereda Campo Alegre el resultado fue 0. El parámetro Nitritos, también entregó el resultado 0 para las fuentes de las dos veredas en ambos periodos.

Por su parte el parámetro Nitratos arrojó un resultado de 5 ppm en ambas muestras en el mes de julio, mientras que en el mes de febrero este parámetro arrojó un resultado de 0 en la vereda Campo Alegre y 5 ppm en la vereda Las Cabañas, presentándose dentro de los rangos permitidos por la normativa colombiana, que para este parámetro contempla un límite de 10 ppm en la resolución 2015 de 2007.

Se debe mencionar que los parámetros analizados no son la totalidad de los establecidos por norma colombiana.

Capítulo 3

1. Uso del suelo y ordenamiento territorial frente a la expansión del cultivo de aguacate en las veredas Las Cabañas y Campo Alegre

Tanto en los aspectos relacionados a la calidad del agua como al recurso forestal, el uso del suelo y el ordenamiento territorial, tiene un papel preponderante. El reporte de CARDER (2020); muestra que Apía no realiza evaluación y seguimiento al esquema de ordenamiento territorial y que los aspectos ambientales y uso del suelo rural son los más afectados. Así mismo, es necesario precisar algunos aspectos concernientes a la legislación relacionada con la temática.

La ley madre del ordenamiento territorial en Colombia es la ley 388 de 1997, en ella se dictan las medidas para ejercer control y garantizar que los territorios se mantengan ordenados y planificados acorde a sus características. De esta manera, la citada ley en su capítulo II orienta las directrices para el ordenamiento territorial municipal, determinando las competencias según su orden, bien sea nacional, departamental, metropolitano o municipal.

El numeral 4 del artículo 7 de artículo reza:

> "Los municipios y los distritos deberán formular y adoptar los planes de ordenamiento del territorio contemplados en la Ley Orgánica del Plan de Desarrollo y la presente Ley, reglamentar de manera específica los usos del suelo en las áreas urbanas, de expansión y rurales de acuerdo con las leyes, optimizar los usos de las tierras disponibles y coordinar los planes sectoriales, en armonía con las políticas nacionales y los planes departamentales y metropolitanos." (Ley 388 de 1997. Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989, y la Ley 2 de 1991 y se dictan otras disposiciones. Artículo 7)

El marco legal colombiano insta a los entes territoriales para que actualicen sus instrumentos de planificación cada 12 años, el equivalente a tres periodos administrativos de alcalde, por lo cual debe estar incorporado en tres planes de desarrollo municipal desde sus diferentes programas (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2016).

Ante esto y tras la revisión en los sitios oficiales de la entidad territorial municipio de Apia y las visitas a su secretaría de Planeación municipal, se pudo constatar que su Esquema de Ordenamiento territorial EOT se encuentra desactualizado, pues el documento vigente corresponde al acto administrativo legalizado mediante el decreto 031 del 2000.

DNP (2016) clasifica los instrumentemos de ordenamiento territorial en Colombia en Planes de Ordenamiento Territorial POT para municipios con más de 100.000 habitantes, Planes Básicos de Ordenamiento Territorial PBOT, para municipios entre 30.000 y 100.000 habitantes; y Esquemas de Ordenamiento Territorial EOT para municipios que cómo Apía cuentan con menos de 30.0000 habitantes.

Por su parte el decreto 1232 de 2020, define las etapas que deben surtirse para la revisión y actualización de los instrumentos de planificación territorial, incluyendo en el la etapa diagnóstica la caracterización y clasificación del suelo para su uso en relación con sus condiciones ambientales.

Frente al uso del suelo rural en el vigente Esquema Ordenamiento Territorial del municipio de Apía, el articulo 9 lo define de la siguiente manera:

> Se establece como suelo rural los terrenos no aptos para el uso urbano, por su presentación topográfica, por su destinación a usos agrícolas, forestales o de reserva, ganadera, y de explotación de recursos naturales y actividades análogas. Comprende el territorio existente entre la zona de expansión urbana y los límites que acredita el Municipio ante el IGAC.- Mapa de clasificación de todo el territorio.(Esquema de Ordenamiento Territorial [EOT], 2000)

Ante esto, el capítulo de uso y ocupación del suelo rural para el municipio de Apía en su Esquema de Ordenamiento Territorial define en su artículo 11 la clasificación general para usos de suelo, siendo estos; uso principal, uso complementario y uso restringido o condicionado.

Desde el ámbito legal para efectos territoriales, ante la ocupación de suelo rural con uso restringido o condicionado, el ciudadano debe remitirse a la secretaría de planeación municipal y la Corporación Autónoma Regional, para

obtener un concepto favorable y su respectiva aprobación. Mas adelante veremos como las veredas Las Cabañas y Campo Alegre pueden considerarse dentro de esta clasificación al presentar una condición especial, sin embrago; no se adelantan las solicitudes necesarias para efectuar usos del suelo que, como el aguacate, implican producción agrícola intensiva y extensiva.

Situaciones como esta, comprometen la institucionalidad de los entes territoriales al no ejercer los controles pertinentes en materia de uso y ocupación del suelo, algo que desde la ruralidad puede representar mayores problemas ambientales.

Galindo (2020) identificó el impacto ambiental generado por la ocupación inapropiada del suelo rural en el municipio de Silvania Cundinamarca, Colombia, observando serias afectaciones en la estructura ecológica y la oferta hídrica del municipio, evidenciando además un deficiente uso de herramientas de ordenamiento por parte del ente territorial en el marco de su Plan Básico de Ordenamiento PBOT.

El caso de Apía compromete de manera puntual la ocupación ilegal de suelo rural con uso restringido o condicionado en las veredas Las Cabañas y Campo Alegre. El EOT de Apía precisa en su artículo 14° “Áreas de reserva forestal” y describe las veredas comprometidas para la categoría “zona forestal protectora productora”:

> ZONA FORESTAL PROTECTORA PRODUCTORA. Es aquella que debe ser conservada permanentemente con bosques naturales o plantados, para proteger los recursos naturales renovables que pueden ser objeto de actividades de producción sostenible, sin perder su función protectora.
>
> Se localiza en las principales microcuencas abastecedoras de acueductos urbanos y rurales, en las veredas Agua Linda, Las Cumbres, Alta Campana, La Garrucha, La Nubia, **Campo Alegre**, Alta Estrella, **Las Cabañas**, Guarne, San Andrés y Dosquebradas. Se encuentran cubiertas principalmente por bosques nativos, y rastrojos asociados con plantaciones forestales y pastizales. Su productividad se relaciona con la biodiversidad y la función reguladora de recurso hídrico. (EOT, 2000).

Como se puede observar, las veredas Campo Alegre y Las Cabañas se encuentran catalogadas según el Esquema de Ordenamiento Territorial, como zona forestal protectora productora, algo que les clasifica como uso restringido o condicionado, dato no menor si se entiende el EOT como instrumento de planificación y regulación del uso del suelo, amparado por una ley de la república (Ley 388 de 1997), que además obliga al ente territorial a su cumplimiento.

El cultivo de aguacate de manera intensiva y extensiva no aplica a las condiciones de uso de suelo rural que enmarca el EOT de Apía como Zona forestal protectora productora, pues no se relaciona a la producción sostenible y altera la función protectora, algo que lo convierte en uso ilegal y debiera ser sancionado y controlado por parte de las autoridades competentes.

Conclusiones

1. En la caracterización de la frecuencia en el uso del suelo y su relación con la deforestación frente al cultivo intensivo de aguacate en el municipio de Apía, los datos obtenidos se basaron en insumos como la Evaluación Agropecuaria Municipal EVA, fuente de diagnóstico obligada para los entes territoriales en Colombia, que describe las áreas destinadas a los diferentes usos agropecuarios cada año. Así mismo, se contrastan los resultados presentados por la secretaría de desarrollo municipal en la EVA frente a los datos publicados por CARDER desde el Sistema de Información Ambiental y Estadístico SIAE, con fundamento en las imágenes satelitales del territorio y su aproximación a los usos del suelo rural, obteniendo con este último un análisis de frecuencia para el uso del suelo que deja ver grandes cambios entre los años 2011 y 2016.

De esta manera, los resultados de EVA mostraron un incremento por encima del 1.000% en las áreas sembradas para aguacate en apenas 7 años, pasando de 71 Ha en 2012 a 1019 Ha en el año 2019. Por otra parte, el estudio de la información de uso de suelo publicada por CARDER, analizada como frecuencia con el aplicativo RStudio, demuestra una disminución considerable en la densidad para el uso de suelo “Bosque” entre los años 2011-2016 lo que refiere una evidente disminución de zonas boscosas dentro de la muestra.

Tras realizar el análisis en la gráfica de frecuencia, se puede concluir que la variable bosque en el año 2016 no es muy precisa, por lo que se demuestra su baja densidad frente a otros usos del suelo que resaltan en este periodo como es el caso de matorral, cultivos forestales o pastos arbolados, usos de suelo que pueden guardar relación con el cultivo de aguacate ya que a pesar de no contar con precisión en los datos de uso presentados por CARDER y obtenidos por imagen satelital, si se puede contrastar con la EVA que no existen en la zona otros cultivos que puedan asemejarse a las condiciones descritas como arbóreo o forestal, solo el aguacate hass se encuentra dentro de estas alternativas en el mapa agropecuario.

Con estos resultados, se concluye que el incremento en las áreas sembradas de aguacate en el municipio de Apía, coincide en el espacio de tiempo con la disminución de la frecuencia en el uso de suelo “Bosque”, algo que

toma mayor relevancia si se tiene en cuenta que la variedad de aguacate Hass con mayor predominio según EVA, se establece en zonas de altura y cercanía a áreas boscosas, en especial a puntos de reserva como es el caso de las veredas Las Cabañas y Campo Alegre. Ante esto, el informe de la dependencia agropecuaria deja notar que en las veredas en estudio no existen cultivos arbolados diferentes al aguacate Hass y las grandes concentraciones de producción se presentan en la zona con cercanía a las áreas de reserva en relación con la oferta ambiental para la variedad de esta fruta.

De manera general, se demuestra que las áreas de influencia a la zona protegida DMI Cuchilla de San Juan, vienen sufriendo una perdida gradual y considerable de bosque, mientras se confirma el establecimiento e incremento de cultivos arbóreos permanentes, de manera más precisa aguacate Hass. Tal situación demanda un análisis más detallado, que permita identificar de manera puntual el daño ambiental en materia de deforestación, con verificación en el sitio para contrastar los aparentes usos del suelo determinados por los sistemas de información satelital, con los cultivos establecidos de manera práctica en cercanía a las áreas boscosas.

Este estudio permitió caracterizar la frecuencia en el uso del suelo para la zona descrita, en relación con la expansión del cultivo de aguacate a partir de las cifras entregadas por diferentes instituciones, el resultado obtenido permite suponer una perdida significativa en el recurso forestal, pero es importante reconocer otros aspectos ambientales que pudieran entenderse como colaterales a la disminución de bosque y expansión de la frontera agrícola.

2. Los resultados arrojados por el dispositivo multiparámetro (Hanna HI98194), en el análisis de las fuentes de agua evaluadas para las veredas Las cabañas y Campo Alegre, presentaron alteraciones significativas en algunos parámetros frente a los rangos permitidos por la normatividad colombiana y la OMS en lo que respecta a estándares de calidad de agua para el consumo humano.

El parámetro pH presentó resultados por debajo de 5,7 en las dos muestras analizadas para la fuente de agua de la vereda Las Cabañas, muy por debajo de

los rangos permitidos por la resolución 115 de 2007. La literatura relacionada califica el pH menor a 6,0 como acido e incluso corrosivo, con afectación directa a la salud humana. Ante esto debe tenerse en cuenta algunos aspectos importantes como la intensidad en la aplicación de productos agroquímicos que no pudo precisarse con el productor y las características del suelo en relación con su capacidad de infiltración para trasladar las sustancias hasta el nivel freático o su contacto directo con la fuente de agua.

Por su parte el Potencial de Oxido Reducción “POR” presentó alteraciones en los resultados obtenidos para ambas fuentes de agua (Las Cabañas y campo Alegre), el valor establecido por la OMS para este parámetro debe ser mayor a 650 mV, pero los datos arrojados por el estudio oscilan entre 212- 400 mV. La OMS cataloga el POR como parámetro base en la vigilancia microbiológica del agua, una importante alteración debiera suponer alerta por posible contaminación de la fuente, lo que requiere una revisión a mayor profundidad.

Ante esto, se debe mencionar que ambas fuentes de agua son aprovechadas por familias campesinas y no se aplica ningún tipo de tratamiento, control o vigilancia al líquido vital, por lo que la alteración del parámetro POR puede ser tenido en cuenta como un indicador de alarma que refiere la necesidad de realizar estudios más especializados para determinar las sustancias contaminantes.

La conductividad eléctrica también arrojó resultados que se alejan de los valores permitidos por la resolución 2015 de 2007, en particular para la fuente de agua de la vereda Campo Alegre. La citada ley colombiana establece que en este parámetro los valores deben situarse por debajo de 1000, ambas muestras en Campo Alegre superan este valor, alcanzando en la muestra tomada en el mes de febrero de 2024 un valor de 3067 microsiemens/cm.

Según la literatura estudiada estos altos niveles en la conductividad pueden asociarse a altos niveles de sales y a su vez guardar relación con la aplicación de insecticidas potenciados con sodio, sobre lo que será necesario precisar los componentes activos de los productos usados en el cultivo y su periodicidad en la aplicación.

Otros parámetros como el Oxígeno Disuelto presentaron alteraciones más leves pero que revisten importancia dentro del análisis general de la situación de cara a garantizar la calidad del agua para el consumo humano y estudiar la relación de tales variaciones con la cercanía de los afluentes a cultivos intensivos de aguacate.

Se puede concluir de manera general que, con el análisis de calidad de agua, se logró identificar alteraciones en algunos parámetros que pueden significar potenciales problemas de salud pública para las comunidades que se abastecen de las fuentes relacionadas en el estudio. No obstante, la metodología implementada arroja datos básicos, por lo cual se hace necesario estudiar más a profundidad, considerando por ejemplo técnicas como la cromatografía, para lograr información precisa de las sustancias presentes en las fuentes de agua y su relación directa con los componentes activos de los insumos utilizados en el cultivo de aguacate.

El proceso surtido en la investigación deja ver las falencias tanto de infraestructura como de control de calidad para el agua de consumo humano en las zonas rurales, algo que demanda una mayor presencia del estado y las autoridades sanitarias para brindar un mejor acompañamiento a la población campesina

3. El uso y ocupación del suelo rural en la zona de estudio, evidencian la falta de herramientas de control por parte de las autoridades municipales y departamentales frente a los modelos ordenamiento territorial y su reglamentación establecida. Este fenómeno es directamente proporcional a las alteraciones de tipo ambiental, con afectación directa a la comunidad, en especial la población campesina que disminuye el acceso a servicios ecosistémicos y ve comprometida su oferta hídrica.

Tras la revisión de los usos del suelo establecidos en el decreto 031 del 2000 por el cual se reglamenta el EOT de Apía, se puede constatar que las veredas Campo Alegre y Las Cabañas se catalogan en su uso de suelo, dentro de la zona forestal protectora productora, lo que la da unas características especiales en los sistemas productivos, orientando la producción agropecuaria de una manera

amigable con el bosque. De esta manera se puede precisar que la producción extensiva e intensiva de aguacate y cualquier otro producto se considera por fuera de los usos contemplados en esta zona en el marco del ordenamiento del territorio.

BIBLIOGRAFÍA

Achard, F., Beuchle, R., Mayaux, P., Stibig, H. J., Bodart, C., Brink, A., ... & Simonetti, D. (2014). *Determination of tropical deforestation rates and related carbon losses from 1990 to 2010.* Global change biology, 20(8), 2540-2554.

Acevedo-Charry, O., Peña-Alzate, F. Á., Beckers, J., Cabezas, M., Coral-Jaramillo, B., Janni, O., ... & Colón-Piñeiro, Z. (2021). Avifauna del interfluvio de la cuenca media Caquetá-Putumayo (Japurá-Içа), al sur de la Amazonia colombiana y su respuesta a la huella humana. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 45(174), 229-249.

Arango Ruiz, Á. (2012). Efectos del pH y la conductividad en la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. Producción+ limpia, 7(1), 59-67.

Argotti Zumbana, C. F. (2021). Estrategia de prevención comunitaria de enfermedades diarreicas agudas a partir de la evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua (Master's thesis, Universdidad Técnica de Ambato/Facultad de Ciencias de la Salud/Centro de posgrados).

Álvarez, D., Monsalve, A. (2019). *Impactos sociales, ambientales y económicos a través de la producción, comercialización y exportación de aguacate Hass en el Oriente Antioqueño (Colombia).* Medellín, Colombia: Institución Universitaria Esumer.

Ayala, D., Villafan, K. (2012). *Responsabilidad social de las empresas agrícolas y agroindustriales aguacateras de Uruapan, Michoacán, y sus implicaciones en la competitividad.* Contaduría y Administración, vol. 59, núm. 4. México, DF: pp. 223-251.

Boyd Claude, E. (2017). Conductividad eléctrica del agua, parte 2. Global Seafood Alliance. Recuperado de: https://www.globalseafood.org/advocate/conductividad-electrica-del-agua-parte-2/#:~:text=La%20conductividad%20el%C3%A9ctrica%20del%20agua,concentraci%C3%B3n%20i%C3%B3nica%20total)%20del%20agua.

Burgos, A., & Anaya, C. (2011*). Impacto ecológico del Cultivo de Aguacate a nivel regional y de parcela en el Estado de Michoacán*: Definición de una Tipología de Productores. Morelia, Michoacán: Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental.

Castellanos-Castro, C., & Bonilla, M. A. (2011). Grupos funcionales de plantas con potencial uso para la restauración en bordes de avance de un bosque altoandino. Acta Biológica Colombiana, 16(1), 175-184.

Cayuela, L. (2006). *Deforestación y fragmentación de bosques tropicales montanos en los Altos de Chiapas, México.* Efectos sobre la diversidad de árboles. Ecosistemas, 15(3).

Chekan, J. R., Cogan, D. P., & Nair, S. K. (2016). Molecular basis for resistance against phosphonate antibiotics and herbicides. Med. (1) , 2 8 – 3 6 .

Cortijo-Herrera, D. (2013). Desalcalinización del agua mediante intercambio iónico. Ingeniería Industrial, (031), 221-238.

Departamento Nacional de Planeación DNP. (2016). Kit de Ordenamiento Territorial KITOT. Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural RIMISP. Colombia.

DEL METODO, E. T. A. P. A. S., & MASIVOS, E. P. (1995). Vigilancia y evaluación de la salud bucal. Método de observación y control. Revista Cubana de Estomatología.

Fares-Taie, L., Gerber, S., Tawara, A., Ramirez-Miranda, A., Douet, J. Y., Verdin, H., ... & Rozet, J. M. (2015). Submicroscopic deletions at 13q32. 1 cause congenital microcoria. The American Journal of Human Genetics, 96(4), 631-639.

Fernández-Rodríguez, M., & Guardado-Lacaba, R. M. (2021). Evaluación del índice de calidad del agua (icasup) en el río Cabaña, Moa-Cuba. Minería y Geología, 37(1), 105-119.

Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., ... & Snyder, P. K. (2005). *Global consequences of land use.* Science, 309(5734), 570-574.

Fu, J., Mai, B., Sheng, G., Zhang, G., Wang, X., Xiao, X., ... & Tang, U. W. (2003). *Persistent organic pollutants in environment of the Pearl River Delta, China: an overview.* Chemosphere, 52(9), 1411-1422.

Galindo Galvis, M. A. (2020). Identificación y análisis de los impactos ambientales generados por las dinámicas de ocupación del suelo rural en la vereda Panamá bajo del municipio de Silvania Cundinamarca, en el periodo 1986 y 2017.

Garcia, J. (2003). *El aguacate ecológico. aspectos técnicos, sociales*. Andalucia: Unidad de certificación de la Asociación Comité Andaluz de Agricultura Ecológica.

Gebrim, F., R. Novais, I. Silva, F. Schulthais, L. Vergütz, L. Procópio, G. Jesus. 2010. Mobility of inorganic and or-ganic phosphorus forms under different levels of phos-phate and poultry litter fertilization in soils. Revista Brasileira de Ciência do Solo 34(4): 1195-1205.

Gonzales Saenz, W., Acharte Lume, L. M., Poma Palacios, J. C., Sánchez Araujo, V. G., Quispe Coica, F. A., & Meseguer Pallares, R. (2023). Evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo humano en seis comunidades rurales altoandinas de Huancavelica-Perú. Revista de Investigaciones Altoandinas, 25(1), 23-31.

Guzmán, B. L., Nava, G., & Díaz, P. (2015). La calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbimortalidad en Colombia, 2008-2012. Biomédica, 35(SPE), 177-190.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta edición ed.). México D.F: Mc Graw Hill.

Instituto Colombiano Agropecuario. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo del aguacate Hass (Persea americana Mill). Medidas para la temporada invernal. ICA*; [consultado 2014 jun]. http://www.ica.gov.co/getattachment/4b5b9b6f-ecfc-46e1-b9ca-b35cc1cefee2/-nbsp;Manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-Aguacate.aspx

Jin, Y. H., Liu, W., Sato, I., Nakayama, S. F., Sasaki, K., Saito, N., & Tsuda, S. (2009). *PFOS and PFOA in environmental and tap water in China*. Chemosphere, 77(5), 605-611.

Kamal Tolba, M. (1982). *Desarrollo sin destrucción. Evolución de las percepciones ambientales*. (Cap. 1 y 2) Barcelona, Ediciones del Serbal.

Larrea Murrell, J. A., Romeu Alvarez, B., Lugo Moya, D., & Rojas Badía, M. M. (2022). Aspectos fundamentales del monitoreo de calidad de las aguas: el río almendares como caso de estudio. Revista CENIC Ciencias Biológicas, 53(2), 148-159.

Liso, M. R. J., de Manuel Torres, E., García, F. G., & López, F. S. (2000). La utilización del concepto de pH en la publicidad y su relación con las ideas que manejan los alumnos: aplicaciones en el aula. Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas, 18(3), 451-461.

LOPEZ, P., & RUBICEL, E. (2015). Niveles nutricionales, color y reflectancia espectral de las hojas de los árboles en huertas de aguacate (Persea americana) en Michoacán.

Macedo Freyre, E. J. (2022). DETERMINACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS DE LA QUEBRADA CAMANÁ Y SUS EFECTOS EN LA SALUD DE LA POBLACIÓN DE LA CIUDAD DE REQUENA-2020.

Mamy, L., Barriuso, E., & Gabrielle, B. (2016). Glyphosate fate in soils when arriving in plant residues. Chemosphere, 154, 425–433.

Norzagaray-Campos, M.; García-Gutiérrez, C.; Llanes-Cárdenas, O.; Troyo-Diéguez, E.; Muñoz-Sevilla, P. (2010). *Análisis de la producción agrícola extensiva en sinaloa: alternativas para el uso sostenible del agua.* Ra Ximhai, vol. 6, núm. 1. México: pp. 45-50.

Mas, J. F., Lemoine-Rodríguez, R., González, R., López-Sánchez, J., Piña-Garduño, A., & Herrera-Flores, E. (2017). Evaluación de las tasas de deforestación en Michoacán a escala detallada mediante un método híbrido de clasificación de imágenes SPOT. Madera y bosques, 23(2), 119-131.

Pacheco, Luis (2016) *El uso del glifosato sí tiene efectos negativos. Polémica sobre él herbicida, en Suplemento Animal Político del Diario "La Razón*". Domingo 26 de junio de 2016. La Paz, Bolivia.

Párraga, C. & Espinel, R. (2010). Análisis de la actividad agrícola como contaminante del agua, alternativas tecnológicas para la desafección del agua para consumo humano en comunidades rurales y recursos legislativos para la prevención y su conservación. Tesis. Ing. Mecánica y ciencias de la Producción. ESPOL. Guayaquil, EC. p 1. 13

Pérez-Castillo, A. G., & Rodríguez, A. (2008). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. Revista de Biología tropical, 56(4), 1905-1918.

Peña, O. S., Rubalcaba, S. C., Novo, M. F., Rodríguez, Y. H., & Pérez, A. (2006). Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba). Higiene y Sanidad Ambiental, 6, 202-206.

Pena Pulla, E. F., & Chang Gómez, J. V. (2009). Proyecto investigación 2007-oxígeno disuelto.

Picado, W. (2012) *Conexiones de la Revolución Verde Estado y cambio tecnológico en la agricultura de Costa Rica durante el período 1940-1980.* [Tesis doctoral Universidad de Santiago de Compostela Facultad de Geografía e Historia.]. https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/7240/Tesis%20Wilson.pdf;sequence=1

Picone LI, Andreoli YE, Costa JL, Aparicio V, Crespo L, Nannini J, Tambascio W. Evaluación de nitratos y bacterias coniformes en pozos de la cuenca alt del Arroyo Pantanoso (BS. AS). RIA. 2003; 32(1):99-110

Pino, V. E., Carranza, C. C., Aguilar, P. N., & Pino, E. E. (2017). Actividades agropecuarias del Sitio «La Bóveda» y su incidencia en la calidad del agua de escorrentía al embalse Sixto Durán Ballén. Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas, 20(39), 73-82.

Reigada, A., Delgado, M., Pérez, N., David, S., Montiel, Marta., (2017). *La sostenibilidad social de la agricultura intensiva almeriense: una mirada desde la organización social del trabajo.* Ager. Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural, núm. 23. Zaragoza, España: pp. 197-222.

Rendon-von Osten, J., & Dzul-Caamal, R. (2017). Glyphosate Residues in Groundwater, Drinking Water and Urine of Subsistence Farmers from Intensive Agriculture Localities: A Survey in Hopelchén, Campeche, Mexico. International Journal of Environmental Research and Public Health, 14(6), 595.

Reyes-Palomino, S. E., & Cano Ccoa, D. M. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. Revista de Investigaciones Altoandinas, 24(1), 53-64.

Rivera, E., Sánchez, M., & Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. Revista de iniciación científica, 4, 101-105.

Rivera Ospina, D. (2019). Agricultura tradicional de roza, tumba y quema en el bosque seco de la Reserva Natural Victoria (Melgar, Tolima): Transición a la no quema.

Rodríguez, C., Duque, C., Calvache, M. L., & López, M. (2010). Causas de las variaciones de la conductividad eléctrica del agua subterránea en el acuífero Motril-Salobreña, España. Geogaceta, 49, 107-110.

Rodríguez-Echeverry, J., & Leiton, M. (2021). *Pérdida y fragmentación de ecosistemas boscosos nativos y su influencia en la diversidad de hábitats en el hotspot Andes tropicales.* Revista mexicana de biodiversidad, 92.

Rubio Arias, H. O., Ortiz Delgado, R. C., Quintana Martínez, R. M., Saucedo Terán, R. A., Ochoa Rivero, J. M., & Rey Burciaga, N. I. (2014). Índice de calidad de agua (ICA) en la presa la boquilla en Chihuahua, México. Ecosistemas y recursos agropecuarios, 1(2), 139-150.

Rull, A. S., & Floristán, F. J. P. (2014). Suministro, distribución y evacuación interior de agua sanitaria. Marcombo.

Solís-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga, L. A., & Mora-Alvarado, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. Revista Tecnología en Marcha, 31(1), 35-46.

Sheng, W., Jincai, Z,. Guoying, S., Jiamo, F., Ping'an,. P. (2003) *Photocatalytic reactions of pyrene at TiO2/water interfaces*. Chemosphere: Volume 50, pp. 111-119.

Suh, H. (2013). Determinación del pH y contenido total de azúcares de varias bebidas no alcohólicas su relación con erosión y caries dental (Bachelor's thesis, Quito, 2013.).

UNIVERSIDAD DE FLORIDA, EEUU. Plant Management in Florida Waters, citado por COMUNIDAD ANDINA. Manual de Estadísticas Ambientales. CAN: Santa Cruz de la Sierra, 2005. p 31-45.

Veramendi Vidal, E. J. (2021). Sistema automático con sensores ORP para el monitoreo de la calidad del agua.

Yunker, M. B., Macdonald, R. W., Vingarzan, R., Mitchell, R. H., Goyette, D., & Sylvestre, S. (2002*). PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition*. *Organic geochemistry*, *33*(4), 489-515.

Torres-Valenzuela, L. S., Sanín-Villarrea, A., Arango-Ramírez, A., & Serna-Jiménez, J. A. (2019). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas mieles del beneficio del café. Revista Ion, 32(2), 59-66.

Tong, S. T., & Chen, W. (2002). Modeling the relationship between land use and surface water quality. Journal of environmental management, 66(4), 377-393.

Use of GIS and remotely sensed data for a priori identification of reference areas for Great Lakes coastal ecosystems (2005, Ciborowski)

Zúñiga, F., & Palomares, L. (2016). El Potencial Redox Intracelular y su Importancia en Biotecnología. BioTecnología, 20(2), 11-25.