



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título: “Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo en la parroquia
Quimiag en los periodos 2010-2015 y 2015-2020”

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Ambiental

Autor:

Dávila Maldonado Darwin Alexander

Tutor:

Ing. Carla Silva

Riobamba, Ecuador

2023

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Darwin Alexander Dávila Maldonado, con cédula de ciudadanía 0706157294, autor (a) (s) del trabajo de investigación titulado: “Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo en la parroquia Quimiag en los periodos 2010 - 2015 y 2015 - 2020”, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 09 de agosto del 2023

Alexander DM

Darwin Alexander Dávila Maldonado
C.I: 0706157294



ACTA FAVORABLE - INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En la Ciudad de Riobamba, a los 31 días del mes de julio de 2023, luego de haber revisado el Informe Final del Trabajo de Investigación presentado por el estudiante **Dávila Maldonado Darwin Alexander** con CC: **070615729-4**, de la carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL** y dando cumplimiento a los criterios metodológicos exigidos, se emite el **ACTA FAVORABLE DEL INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN** titulado "**Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo en la parroquia Quimiag en los periodos 2010-2015 y 2015-2020**", por lo tanto se autoriza la presentación del mismo para los trámites pertinentes.



CARLA FERNANDA
SILVA PADILLA

Ing. Carla Silva
TUTOR(A)



CERTIFICACIÓN

Que, **Dávila Maldonado Darwin Alexander** con CC: **0706157294**, estudiante de la Carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo en la parroquia Quimiag en los periodos 2010-2015 y 2015-2020**", cumple con el **1%**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 02 de agosto de 2023



FORMA DE AUTENTICACIÓN DEL
CARLA FERNANDA
SILVA PADILLA

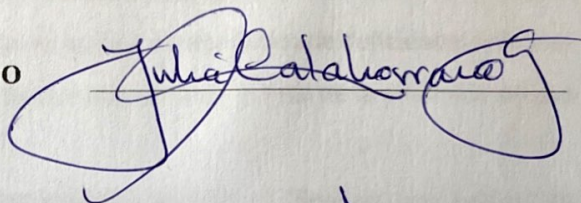
Ing. Carla Silva
TUTOR(A)

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

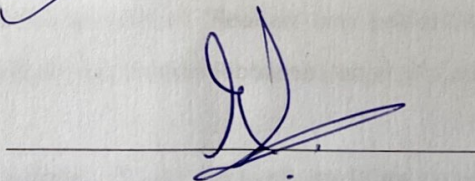
Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación "Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo en la parroquia Quimiag en los periodos 2010 - 2015 y 2015 - 2020", presentado por Darwin Alexander Dávila Maldonado, con cédula de identidad número 0706157294, bajo la tutoría de Mg. Carla Fernanda Silva Padilla; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 09 de agosto de 2023

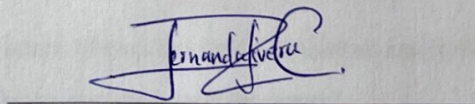
Mgs. Julia Calahorrano
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



MsC. Patricio Santillán
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Mgs. María Fernanda Rivera
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis abuelitos, a mis padres, y a mi familia, quienes desde el segundo en que decidí estudiar esta carrera estuvieron ahí para apoyarme. A mi yo de 15 años que soñaba con algún día llegar a ser un ingeniero ambiental. A mi mascota, Mila, que ha sido el apoyo que necesitaba en mis momentos más bajos. Y redacto estas palabras que han sido parte de mi vida desde el día en que las leí “*Vida antes que muerte, fuerza antes que debilidad, viaje antes que destino*”

Darwin Alexander Dávila Maldonado

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar agradeciéndole a Dios que me permitió llegar hasta aquí, a mi mamá quien no ha habido un día en que no lo hiciera todo por mí, quien ha dejado tantas cosas de lado por verme triunfar, es a ella a quien le debo tanto, que me faltarían horas de vida para poder compensárselo.

A mi papá quien me apoyo de todas las maneras posibles. A mis abuelitos, para quienes aún soy su nieto pequeño que pasaba sus vacaciones escolares junto a ellos, sin ellos probablemente no hubiera llegado tan lejos, les estaré eternamente agradecido por todo su cariño y aprecio. Y a toda mi familia que siempre han estado pendientes de mí.

A todos los docentes de la carrera, quienes me han aportado todo este conocimiento, y que de manera indirecta me han hecho la persona que soy ahora, les agradezco por su paciencia, por su amabilidad y por la buena voluntad que siempre han tenido conmigo.

A mi tutora, la ingeniera Carla Silva, que no ha tenido más que paciencia hacía mí, le agradezco de corazón por su dedicación y conocimiento para que pueda culminar este trabajo. Solo espero algún día poder llegar a ser la mitad de lo profesional que es usted. Gracias.

A mis amigos, gracias por las risas, los abrazos y los increíbles momentos que pase junto a ustedes.

Darwin Alexander Dávila Maldonado

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL.....	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO.....	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS.....	
RESUMEN	
ABSTRACT.....	
1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 Introducción.....	14
1.2 Problemática	14
1.3 Justificación	15
1.4 Objetivos.....	17
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 Suelo.....	18
2.2 Uso de suelo	18
2.3 Cambio de uso de suelo.....	18
2.4 Efectos del cambio de uso de suelo.....	19
2.5 Propiedades fisicoquímicas del suelo.....	19
2.6 Teledetección	20
2.7 Sensores remotos.....	20
2.8 Plataformas de teledetección.....	20
2.9 Imágenes satelitales.....	20
2.10 Tipos de resoluciones.....	21
2.11 Procesamiento de imágenes satelitales.....	21
2.12 Imágenes satelitales de tipo Landsat.....	21
2.13 Imágenes Landsat 7.....	22
2.14 Imágenes Landsat 8.....	22

2.15	Cobertura y uso del suelo en una imagen satelital	22
2.16	Corrección radiométrica y calibración atmosférica	22
2.17	Análisis multitemporal	22
2.18	Análisis estadístico.....	23
2.19	Análisis estadístico de ANOVA y TUKEY.....	23
3.	CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	24
3.1	Tipo de investigación	24
3.2	Diseño de investigación	24
3.3	Técnica de recolección de datos.....	24
3.4	Área de Estudio	24
3.5	Análisis multitemporal	25
3.6	Procesamiento de las imágenes satelitales	26
3.7	Tasa de cambio de uso de suelo	26
3.8	Puntos de muestreo para análisis de las propiedades fisicoquímicas.....	26
3.9	Análisis de las propiedades fisicoquímicas	27
3.10	Análisis estadístico.....	28
4.	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1	Análisis multitemporal	29
4.2	Cambio de uso de suelo.....	33
4.3	Puntos de muestreo.....	35
4.4	Propiedades fisicoquímicas del suelo.....	36
4.5	Análisis de ANOVA y TUKEY para las propiedades fisicoquímicas del suelo	38
5.	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
6.	CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA	52
7.	CAPÍTULO VII. ANEXOS.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.....	29
TABLA 2.....	31
TABLA 3.....	32
TABLA 4.....	32
TABLA 5.....	33
TABLA 6.....	34
TABLA 7.....	36
TABLA 8.....	39
TABLA 9.....	40
TABLA 10.....	40
TABLA 11.....	41
TABLA 12.....	42
TABLA 13.....	43
TABLA 14.....	44
TABLA 15.....	45
TABLA 16.....	45
TABLA 17.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.....	24
FIGURA 2.....	29
FIGURA 3.....	30
FIGURA 4.....	35
FIGURA 5.....	41
FIGURA 6.....	42
FIGURA 7.....	44
FIGURA 8.....	46
FIGURA 9.....	47
FIGURA 10.....	56
FIGURA 11.....	57
FIGURA 12.....	57
FIGURA 13.....	58
FIGURA 14.....	58
FIGURA 15.....	59
FIGURA 16.....	59
FIGURA 17.....	60

RESUMEN

El cambio de uso de suelo es una problemática a nivel mundial que requiere ser cuantificada con el fin de establecer alternativas viables para su control; en este sentido, el presente estudio tuvo como objetivo realizar una evaluación multitemporal de cambio en el suelo en la parroquia Quimiag, cantón Riobamba en el periodo 2010 - 2015 y 2015 - 2020. Para lo cual, se aplicó una metodología experimental y diagnóstica, con un diseño cuantitativa y para la recolección de datos se aplicó el muestreo al azar estratificado, mientras que para cuantificar el cambio en los usos de suelo existentes se trabajó con imágenes satelitales de tipo Landsat, adquiridas de la plataforma “Earth Explorer USGS” y se aplicó un proceso de rectificación usando el software QGIS, obteniendo la tasa de cambio de suelo, la cual indicó que en el periodo 2010-2015, el bosque presentó la mayor reducción con 5,37%, mientras que tierra agropecuaria reveló una ganancia de un 16,85 %; con relación al periodo 2015-2020, se obtuvo que otras tierras presentó el mayor cambio negativo correspondiente a un 27,78%, mientras que la tierra agropecuaria presentó un aumento del 21,13% . Posteriormente se determinó las propiedades fisicoquímicas de cada uno de los usos de suelo analizados, observando que en todos los casos se presentan diferencias en los valores obtenidos; finalmente se efectuó una comparación de las propiedades fisicoquímicas del suelo a partir del análisis estadístico de Anova y Tukey, obteniendo que la densidad aparente y real, el pH, la conductividad, la materia orgánica y la porosidad presentan diferencias estadísticamente significativas, concluyendo que el uso de suelo en la parroquia Quimiag en los períodos: 2010 -2015 y 2015 - 2020, ha afectado sus propiedades fisicoquímicas.

Palabras claves: uso de suelo, evaluación multitemporal, propiedades fisicoquímicas, Quimiag.

ABSTRACT

The change in land use is a global problem that needs to be quantified to establish viable alternatives for its control; In this sense, the objective of this study was to carry out a multitemporal evaluation of soil change in the Quimiag parish, Riobamba canton, in the period 2010 - 2015 and 2015 - 2020—an experimental and diagnostic methodology applied with a quantitative design. For data collection, stratified random sampling was applied, while to quantify the change in existing land uses, we worked with Landsat-type satellite images acquired from the "Earth Explorer USGS" platform and applied a rectification process using the QGIS software, obtaining the soil change rate, which indicated that in the period 2010-2015, the forest presented the most significant reduction with 5.37%, while agricultural land revealed a gain of 16.85%; Concerning the period 2015-2020, it was obtained that other lands presented the most remarkable negative change corresponding to 27.78%, while agricultural land presented an increase of 21.13%. Subsequently, the physicochemical properties of each of the analyzed land uses were determined, noting that in all cases, there are differences in the values obtained; Finally, a comparison of the physicochemical properties of the soil was made from the statistical analysis of Anova and Tukey, getting that the apparent and natural density, pH, conductivity, organic matter, and porosity present statistically significant differences.

Keywords: land use, multitemporal evaluation, physicochemical properties, Quimiag.



Reviewed by:
Ms.C. Ana Maldonado León
ENGLISH PROFESSOR
C.I.0601975980

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

Las cuencas hidrográficas ofrecen varios beneficios a la sociedad, siendo algunos de ellos: bienes, como alimentos y agua potable; servicios de regulación, entre ellos: calidad del aire, clima y el ciclo hidrológico; y por último servicios de soporte, ya que brindan la renovación natural del recurso hídrico y ayudan a la formación de suelos (Prefectura de Chimborazo, 2020).

La disposición de una microcuenca permite la planeación del uso de los recursos naturales, considerando un conjunto de factores entre los que se incluyen la conservación de ecosistemas y las distintas condiciones de vida presentes, dado que existe una interrelación entre el uso, manejo y la actuación de los recursos naturales. En este sentido, según (Gómez et al., 2017) existen problemáticas tales como: actividades agrícolas, deforestación y la fragmentación del hábitat, las cuales han provocado afectaciones en la vegetal como del uso de suelo; de la cual la microcuenca del río Blanco, no es la excepción.

Debido a su posición territorial la parroquia Quimiag presenta zonas andinas de alto interés como el ecosistema páramo, el cual es altamente importante para lograr cuantificar los cambios que se han presentado en la cobertura del suelo, derivados principalmente por actividades antrópicas y el avance de la frontera agrícola; lo que genera altos niveles de deforestación y una pérdida del recurso suelo debido a distintos procesos de degradación; destacando que esta situación puede producir problemas ambientales, que destruyen el medio donde habitan varias formas de vida (Cantú & Yáñez, 2018).

Para conocer la situación de la parroquia Quimiag se realizó un análisis multitemporal del cambio de uso del suelo en la microcuenca del río Blanco en la parroquia Quimiag del cantón Riobamba, en los periodos 2010, 2015 y 2020, con la finalidad de conocer cómo se presenta la situación en dicho lugar y así poder establecer los principales factores que afectan la vulnerabilidad del suelo.

Se obtuvieron resultados que revelaron cambios significativos en la cobertura del suelo en el período 2010, 2015 y 2020, tales como la pérdida de la clase de uso de suelo “bosques” con una reducción en el porcentaje del 11,15% en el período 2015 – 2020 debido al incremento de “tierra agropecuaria” en un 21,13% en el mismo intervalo de tiempo.

1.2 Problemática

Conocer la dinámica del cambio de uso de suelo de un área de estudio permite identificar las tendencias a las cuales se encuentra expuesta dicha área, como puede ser la deforestación,

degradación, desertificación, deterioro de la calidad del suelo y la pérdida de la biodiversidad propia del área de estudio.

Una de las principales causas para el constante cambio en el uso de suelo de la cuenca del río Blanco en la parroquia Quimiag, es el avance de la frontera agrícola y demás actividades como la ganadería, esto se puede evidenciar gracias a la información obtenida en el PDOT (Prefectura de Chimborazo, 2020) en el cual se menciona que las microcuencas del río Daldal y río Blanco, se ven afectadas por la destrucción del bosque nativo que es reemplazado por pastos mejorados para la producción de leche.

Conjuntamente, en el estudio de (Carrión et al., 2013) quien de acuerdo con lo manifestado por las comunidades de la parroquia Quimiag indican que se puede definir que el progreso de la frontera agrícola, las quemas, extracción de madera y leña y las deficientes prácticas de cultivos, son las causas de un proceso de degradación de los ecosistemas. Con base en lo expuesto, en la microcuenca del río Blanco y en la parroquia Quimiag existe una problemática muy preocupante dado que se está anteponiendo los beneficios de actividades remunerables a las consecuencias ya mencionadas que trae consigo el cambio del uso del suelo.

Por lo que, es necesario determinar el cambio el uso de la tierra en un intervalo de tiempo para comprender si estos pueden presentar un riesgo considerable para la microcuenca del río Blanco, para los habitantes de la parroquia Quimiag y para las diferentes formas de vida que habitan en dicho territorio.

1.3 Justificación

El cambio en el uso de la tierra puede provocar una disminución significativa en la cobertura vegetal en un corto período de tiempo, lo que puede afectar de manera significativa las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Cantú & Yáñez, 2018). Como resultado de la perturbación humana directa o indirecta, esto puede resultar en una reducción en la cantidad de carbono en la superficie, lo que tiene un impacto significativo en el cambio global (Smith et al., 2016). Por consiguiente, surge la necesidad de realizar el presente estudio, con el fin de identificar las principales actividades causantes del cambio del suelo en la microcuenca del río Blanco, parroquia Quimiag, en el cual para la obtención de información de los distintos tipos de suelo presentes, se empleó imágenes satelitales como base para el análisis multitemporal, haciendo uso de distintas técnicas de teledetección con el objetivo de detectar cambios de cobertura en un intervalo de tiempo, específicamente en los periodos 2010, 2015 y 2020.

La importancia del estudio se centra en sensibilizar a los moradores de la parroquia Quimiag a través de la información sobre cómo les afectará en un futuro los cambios que ha tenido el suelo en los periodos previamente mencionados, además los resultados de este estudio

servirán de base para realizar futuras investigaciones, no solo en beneficio de la microcuenca del río Blanco, sino también en distintos lugares donde la problemática está presente en un mayor grado de peligro hacia el medio ambiente.

1.4 Objetivos

General

- Realizar una evaluación multitemporal de cambio en el suelo en la parroquia Quimiag, cantón Riobamba en el periodo 2010 - 2015 y 2015 - 2020.

Específicos

- Cuantificar el cambio de uso del suelo en la parroquia Quimiag en los períodos: 2010 - 2015 y 2015 - 2020 a través del cálculo de la tasa de cambio de uso de suelo.
- Evaluar las propiedades fisicoquímicas del suelo (densidad real, densidad aparente, porosidad, pH, conductividad y materia orgánica) para los distintos usos de suelo.
- Comparar las propiedades fisicoquímicas del suelo con los valores promedios del mismo haciendo uso del análisis estadístico de ANOVA y TUKEY.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Suelo

El suelo es considerado uno de los reservorios más importantes de carbono, el cual sirve como fuente y a su vez de sumidero de dióxido de carbono atmosférico (CO₂), es por ello que, cumple un papel vital en el cambio climático global (Cantú & Yáñez, 2018).

Las funciones del suelo pueden ser definidas como las diversas capacidades que están relacionadas con actividades como agricultura, el ecosistema, la protección de la biodiversidad y la arquitectura del paisaje. Estas funciones incluyen la producción de biomasa y alimentos, el ciclado de nutrientes, la regulación hídrica, las interacciones ambientales, el hábitat biológico, la reserva genética, la fuente de materias primas, el patrimonio físico y cultural y la plataforma para estructuras antrópicas (Trujillo et al., 2018).

2.2 Uso de suelo

El suelo es un recurso natural de gran importancia, dado que es esencial para la vida y para el desarrollo de diversas actividades. Los cambios en la cobertura del suelo y en el uso de este son resultado de las actividades socioeconómicas que tienen impacto en los aspectos biofísicos y en diversos factores ambientales.

Es por ello por lo que las distintas actividades humanas tienen un impacto considerable sobre la diversidad biótica en todo el mundo, no quedándose a un lado los ciclos biogeoquímicos, la degradación y calidad del suelo. Por ello es importante documentar las modificaciones del suelo, para entender cuáles son sus fuerzas conductoras, así como sus consecuencias, especialmente, en el contexto de los cambios ambientales globales, el crecimiento rápido de la población y el incremento de las demandas hacia la sustentabilidad del ambiente (Escandón et al., 2018).

2.3 Cambio de uso de suelo

Según (Cantú & Yáñez, 2018) en su artículo titulado "El efecto del suelo", destacan que es posible causar cambios significativos en la cobertura vegetal en lapsos cortos de tiempo, lo que puede resultar en graves alteraciones en varias propiedades del suelo.

La principal consecuencia ha sido la eliminación y transformación de la vegetación primaria en un porcentaje mayor al 50 % de los ecosistemas terrestres, estos cambios se los atribuye al crecimiento demográfico, la agricultura, ganadería y un incremento de las zonas industriales (Galindo et al., 2019).

2.4 Efectos del cambio de uso de suelo

Estos cambios se presentan cuando no se efectúa un buen manejo del suelo, no conduce solamente a una explotación ineficiente del recurso suelo y al fenómeno de degradación, también se ve ligado a la pobreza y distintos problemas sociales (Trujillo et al., 2018).

Los efectos más notables se ven reflejados en impactos negativos como: erosión, sedimentación, excesivo incremento de nutrientes e ingreso de sustancias tóxicas hacia los cuerpos hídricos. Esto se ve reflejado en la calidad del agua, ecosistemas acuáticos y sus respectivas comunidades biológicas (Cremona & Enriquez, 2020). Es por ello, que es vital que exista un correcto manejo de las cuencas hidrográficas, de lo contrario, se pueden producir pérdidas en los servicios ecosistémicos de la misma. Dichos servicios son beneficios para que el ser humano pueda beneficiarse de manera directa e indirecta, como por ejemplo provisiones y regulación de procesos, entre los cuales se tiene la filtración de patógenos y contaminantes de las fuentes de agua, suelo y carga de sedimentos (Herrera et al., 2017).

2.5 Propiedades fisicoquímicas del suelo

Las microcuencas presentan una variabilidad natural en sus características físicas, químicas y biológicas. Esta variabilidad se puede ver afectada por diferentes actividades humanas y usos de suelo los cuales pueden influir directamente sobre los servicios ecológicos e hidro morfológicos de la microcuenca. Se tienen las principales propiedades fisicoquímicas del suelo:

- **Densidad real:** Como indica (Ramírez et al., 2015) es una propiedad constante ya que se suele determinar por mineralogía o de acuerdo con la composición química de la fase sólida del suelo.
- **Densidad aparente:** Se puede obtener mediante la relación entre el volumen total de sólidos del suelo y la masa de este (Novillo et al., 2018)
- **Porosidad:** Se define como el porcentaje de volumen del suelo que no está ocupado por los sólidos de este, lo que da lugar a la presencia de espacios porosos que permiten el movimiento de nutrientes, aire, gases y agua en su interior (Novillo et al., 2018)
- **pH del suelo:** es una medida de la concentración de iones hidrógeno presentes en la solución del suelo, utilizando una escala de pH que varía desde 0 hasta 14. Un suelo con un pH de 7 se considera como neutro, mientras que aquellos con valores superiores a 7 se consideran alcalinos y aquellos con valores inferiores a 7 se consideran ácidos (Cremona & Enriquez, 2020).
- **Conductividad del suelo:** es una medida indirecta de la concentración de sales presente en el suelo. El suelo naturalmente tiene disueltas sales, por lo que la conductividad eléctrica puede ser baja pero nunca nula (Cremona & Enriquez, 2020).

- **Materia orgánica:** Se presenta en tres formas: como carbono elemental, como humus y humatos, y como residuos orgánicos poco alterados, también conocidos como materia orgánica lábil (MOL). Estas formas de materia orgánica se consideran indicadores de la calidad del suelo, ya que contribuyen positivamente a sus propiedades físicas (Eyherabide et al., 2014).

2.6 Teledetección

Se refiere al proceso de monitorizar las características físicas y químicas de una superficie mediante la medición de la radiación que refleja o emite dicha superficie desde una distancia. Durante la interacción entre la superficie del suelo y el sensor, se registra la energía solar (radiación visible o infrarroja) que se refleja por la superficie (conocida como reflectancia) o por un haz de energía artificial. La señal es transmitida a través de la atmósfera y capturada por los sensores, y la información es finalmente procesada en formato digital para su posterior uso (Andreu et al., 2021).

2.7 Sensores remotos

El uso de sensores remotos en la actualidad hace referencia a la utilización de distintas tecnologías de dispositivos montados en plataformas espaciales que detectan fenómenos que suceden en la Tierra a través de ondas electromagnéticas propagadas, teniendo entre sus principales funciones el monitoreo, evaluación ambiental y la detección de cambios globales que puedan intervenir de manera directa o indirecta con actividades tales como agricultura, exploración de recursos naturales y cartografía (Logroño et al., 2020).

2.8 Plataformas de teledetección

Las plataformas son los dispositivos que se utilizan para capturar, almacenar y transmitir información a distancia de las imágenes de la superficie terrestre. Estas plataformas pueden ser satélites (por ejemplo, LANDSAT, METEOSAT, SPOT) o aviones que transportan los sensores necesarios para la recolección de datos. Las plataformas se clasifican en tres tipos según la distancia a la que se encuentran de la superficie terrestre: nivel superficial, aéreos y satelitales (Veneros et al., 2020).

2.9 Imágenes satelitales.

Las imágenes satelitales son una representación visual de la superficie terrestre, capturada por medio de un satélite artificial en órbita alrededor del planeta. Son herramientas tecnológicas usadas con la finalidad de abordar una gran parte de los fenómenos medioambientales, generando mapas e indicadores que permiten a directivos, técnicos y especialistas de los sectores de la agricultura, hidrología y medio ambiente su utilización para establecer estrategias de reducción y mitigación de riesgos de desastres y políticas para el fortalecimiento de la sostenibilidad ambiental (Luque, 2023).

2.10 Tipos de resoluciones.

La resolución espacial es un modelo de resolución que se maneja para definir las imágenes satelitales y se determina por el número de píxeles que componen el sensor de un satélite o cámara digital. Este parámetro es importante porque indica la capacidad del sensor para distinguir objetos o detalles de un tamaño determinado en las imágenes capturadas. A medida que aumenta el número de píxeles por unidad de superficie, se incrementa la resolución del fotosensor, aunque también se genera un mayor volumen de archivo informático. Este parámetro se utiliza para evaluar la calidad y precisión de las imágenes satelitales (Ruiz et al., 2013)

Entre los distintos tipos de resolución se encuentran (Ruiz et al., 2013):

La resolución espacial: medida de capacidad de un sensor para distinguir el objeto más pequeño en una imagen, que se determina por el tamaño del píxel y se mide en metros en el terreno. Esta resolución depende de la altura del sensor sobre la superficie terrestre.

La resolución espectral: el número de canales espectrales que un sensor puede captar.

La resolución radiométrica: También conocida como resolución dinámica, se refiere a la cantidad de niveles de gris en los que se divide la radiación recibida para su posterior almacenamiento y procesamiento. Esto depende del conversor analógico-digital utilizado.

La resolución temporal: Se refiere a la frecuencia con la que el satélite pasa por un punto específico de la superficie terrestre. Esta resolución depende principalmente de las características orbitales del satélite.

2.11 Procesamiento de imágenes satelitales

El resultado del procesamiento de una imagen satelital es la obtención e identificación de los diferentes tipos de cobertura, inicialmente se requiere de la descarga de la imagen mediante una interfaz o visor, existen múltiples visores, USGS Earth Explores, la cual es una interfaz de herramienta de búsqueda desarrollada por el servicio geológico de los United States (USGS) (León & Garavito, 2021).

2.12 Imágenes satelitales de tipo Landsat.

El programa Landsat ha generado una biblioteca de imágenes de más de 40 años de longevidad, y la mayoría están disponibles de manera gratuita para cualquier usuario con acceso a internet. La información proporcionada por la misión es crítica para caracterizar, entender y predecir permutaciones en la cobertura y el uso del suelo a nivel global (Carrillo et al., 2022).

2.13 Imágenes Landsat 7.

El satélite Landsat 7 fue puesto en órbita en el año 1999, cuyo sensor, el cartógrafo temático mejorado (Enchanted Thematic Mapper Plus, ETM+), incluía mejoras que permitían obtener imágenes de mayor resolución (Carrillo et al., 2022).

2.14 Imágenes Landsat 8.

El Landsat 8 es un satélite que se lanzó en 2013 y todavía está en funcionamiento, posee dos tipos de sensores: el Operacional Land Imager (OLI) y el Thermal Infrared Sensor (TIRS). Este satélite es la última versión avanzada en cuanto a imágenes del tipo Landsat (Carrillo et al., 2022).

2.15 Cobertura y uso del suelo en una imagen satelital

Según (Carrillo et al., 2022) las categorías más comunes de clasificación de una imagen satelital son las relacionadas a la cobertura y uso de suelo:

- **Cobertura:** Hace referencia a la superficie física de la tierra, incluyendo varias combinaciones de vegetación natural y cultivada e infraestructuras hechas por el humano. Superficies como agua, glaciales, rocas y suelo desnudo.
- **Uso:** Incluye tanto la manera en cómo los atributos biofísicos son modificados y las razones de uso alteración.

2.16 Corrección radiométrica y calibración atmosférica

Existen múltiples maneras en la que la atmósfera perjudique a la naturaleza de las imágenes de sensores remotos, este es un proceso que se aplica a las imágenes satelitales con el propósito de eliminar de aerosoles y radiancia intrínseca, es decir, suprimir las perturbaciones atmosféricas, el cual se introducen al sensor y se reflejan en la imagen, el objetivo es obtener una reflectancia de la superficie caracterizada.

En la corrección radiométrica y calibración atmosférica es importante tener en cuenta los metadatos de la imagen, es decir, son un conjunto de archivos el cual poseen un grupo de datos que contienen información sobre el mismo archivo, en otras palabras, es una información que describe datos (León & Garavito, 2021)

2.17 Análisis multitemporal

El análisis multitemporal es una herramienta esencial para la planificación del territorio y la comprensión de la evolución de las problemáticas ambientales. Permite identificar los cambios y los impactos más significativos a lo largo del tiempo, así como la interacción entre los diferentes elementos que conforman el territorio y su relación con la intervención humana. En definitiva, este análisis facilita la toma de decisiones y la implementación de medidas para la gestión ambiental sostenible (Flórez et al., 2017)

2.18 Análisis estadístico.

El análisis estadístico es un proceso que implica la recolección y el análisis de datos para identificar patrones y tendencias. Es una herramienta importante en la analítica de datos y se utiliza en diversas situaciones, como la elaboración de modelos estadísticos, el diseño de encuestas y estudios, y la interpretación de los resultados de la investigación.

2.19 Análisis estadístico de ANOVA y TUKEY.

Es un método estadístico que utiliza el *ratio* entre la varianza de las medias de diferentes grupos y la varianza dentro de cada grupo para evaluar si las medias son significativamente diferentes. Este *ratio* es conocido como estadístico F, y sigue una distribución F de Fisher-Snedecor. Si la hipótesis nula es verdadera, el estadístico F será cercano a 1, lo que indica que la varianza entre medias es igual a la varianza dentro de los grupos. A medida que los grupos se diferencian más, la varianza entre medias se vuelve mayor en comparación con la varianza dentro de los grupos (Diez et al., 2019).

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

El método de investigación del presente trabajo es netamente experimental y diagnóstico. Debido a que se obtuvo datos por medio de la experimentación, para lograr el cumplimiento del segundo y tercer objetivo planteado, además se requirió de la manipulación de diferentes métodos y variables para la correcta ejecución de los mismos y efectuar el diagnóstico correspondiente; especialmente por el primer objetivo, en el que se necesitó de un análisis específico para verificar la situación en la parroquia Quimiag y así poder observar qué factores fueron los que han cambiado con el tiempo, es decir, en los periodos planteados, como son el 2010 – 2015 y 2015 – 2020.

3.2 Diseño de investigación

El diseño de investigación es de carácter cuantitativo dado que el estudio se realizó de manera sistemática y ordenada, es decir, cumpliendo una secuencia desde el primer objetivo planteado hasta el tercero. El correcto cumplimiento de los objetivos planteados permitió responder a la problemática central del presente estudio, además la recolección de datos se efectuó mediante la aplicación de los instrumentos diseñados en la metodología, teniendo como principal instrumento la experimentación, luego de ello, haciendo uso de los distintos datos obtenidos se realizó el análisis de los mismos para poder emitir las conclusiones generales que ayudaron a esclarecer la problemática y el objetivo general planteado.

3.3 Técnica de recolección de datos

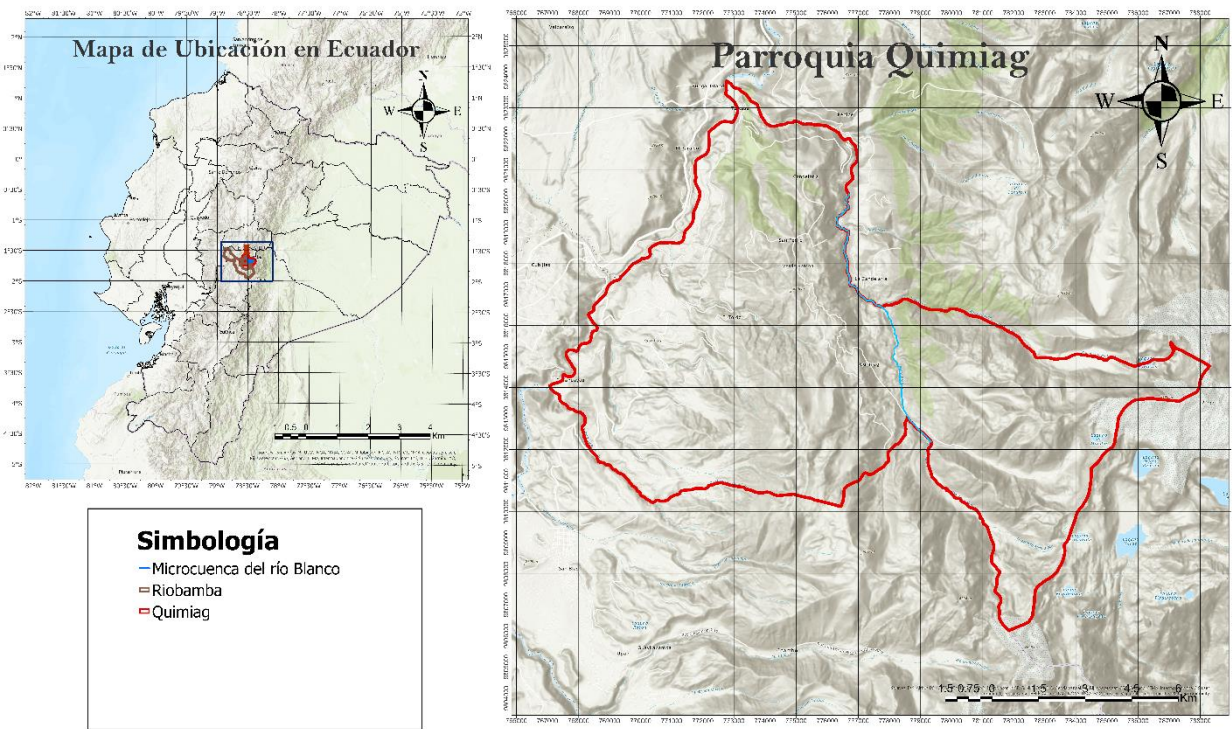
La técnica seleccionada para el presente trabajo de investigación fue un muestreo de tipo al azar estratificado. Se seleccionó este tipo de muestreo ya que luego de haber realizado la determinación de los distintos usos de suelo presentes en la parroquia Quimiag, se obtuvo el número de grupos donde se requiere realizar el muestreo. Luego se seleccionó los puntos de muestreo de manera aleatoria para cada grupo.

3.4 Área de Estudio

El mismo corresponde al territorio perteneciente a la provincia de Chimborazo, el cantón Riobamba y la parroquia Quimiag, la cual hidrológicamente cuenta con parte de la microcuenca del río Blanco, con una población de 4873 habitantes y una extensión de aproximadamente 139,5 km². En la **Figura 1**, se puede apreciar la ubicación objeto de estudio.

Figura 1

Parroquia Quimiag



<p>Unach UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL</p>	<p>Análisis multitemporal de la parroquia Quimiag</p> <p>Escala 1:25 000</p> <p>Sistema de Coordenadas: WGS 84 UTM Zone 17S</p>	<p>Mapa de ubicación del área de estudio</p>
		<p>Diseñado Por: Alexander Dávila</p> <p>Revisado Por: Ing. Carla Silva</p> <p>Fecha: 01/08/2023</p>

Nota. Se presenta la ubicación donde se realiza la presente investigación.

3.5 Análisis multitemporal

La elaboración del análisis multitemporal se empezó a elaborar tomando en cuenta la información del uso de suelo en Quimiag en el año 1990, ya que fue útil para establecer un punto de partida y observar cómo ha cambiado el mantenimiento del suelo en los distintos periodos a analizarse 2010 - 2015 y 2015 - 2020.

Se tomaron en cuenta los principales usos de suelo en el Ecuador, los cuales están definidas por el Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE, 2017) y según el convenio MAE – MAGAP – CLIRSEN para el territorio de la parroquia Quimiag son:

- Vegetación arbustiva y herbácea.
- Cuerpos de agua.
- Bosques.
- Tierra Agropecuaria.
- Otras tierras.
- Zona antrópica

3.6 Procesamiento de las imágenes satelitales

Para identificar los distintos usos de suelo existentes se trabajó con imágenes satelitales de tipo Landsat, tomando como referencia aquellas que abarcasen la mayoría del área de estudio para determinar los usos del suelo presentes en la zona de estudio. Dichas imágenes se adquirieron de la plataforma “Earth Explorer USGS” de manera gratuita.

Se utilizaron imágenes de tipo Landsat 7 para el periodo 2010 - 2015 y Landsat 8 para el periodo 2015 - 2020, se seleccionó imágenes con un bajo porcentaje de nubosidad para apreciar de mejor manera las características de cobertura y uso de suelo de la zona de indagación. Luego de aplicar un proceso de rectificación a las imágenes obtenidas de cada periodo con el software QGIS.

3.7 Tasa de cambio de uso de suelo

Tras haber realizado el análisis multitemporal para los distintos periodos de tiempo, se calculó la tasa de cambio de uso de suelo, haciendo uso de la ecuación 1 propuesta por la FAO (FAO , 1996).

$$q = \left[\left(\frac{A_2}{A_1} \right)^{\left(\frac{1}{n} \right)} - 1 \right] * 100 \quad 1$$

Donde:

q = Tasa de cambio (%)

A₁ = Superficie ocupada por la vegetación en la fecha 1/ uso i en el año de inicio.

A₂ = Superficie ocupada por la vegetación en la fecha 2/uso i en el año más reciente.

n = Número de años del periodo de análisis.

3.8 Puntos de muestreo para análisis de las propiedades fisicoquímicas

El análisis de las propiedades fisicoquímicas necesitó de tres muestras por cada uso de suelo, las cuales requirieron de ciertas consideraciones según la metodología de (Mendoza & Espinoza, 2017), estas fueron:

- Las muestras de cada uso de suelo debían presentar similitud biogeográfica.
- Cada muestra se obtuvo a una profundidad de 30 a 60 cm de profundidad para usos de suelo “normales” y de 60 a 90 cm de profundidad para páramo.
- Se realizó el cuarteo de la muestra, se tomó alícuotas hasta obtener una cantidad de 500 a 1000 g, y se las ubicó en una bolsa ziploc, además se etiquetó cada muestra con datos como: fecha, uso de suelo, profundidad responsable y una codificación.
- Al momento de transportar las muestras se las ubicó en un cooler para que puedan ser procesadas.
- Por último, se secó las muestras al aire y posterior a ello se las tamizó en un tamiz de 2mm.

3.9 Análisis de las propiedades fisicoquímicas

Densidad real: La densidad real se calculó usando un cilindro de volumen conocido para obtener una muestra de suelo, se dejó secar la muestra durante 24 horas a temperatura ambiente, luego de ello se aplicó la siguiente ecuación (Villaseñor, 2016).

$$D_r = \frac{Msh}{V_t} \quad 2$$

Dónde:

Dr = Densidad real

Msh = Masa del suelo húmedo (Mc (Masa de la cápsula que contiene el suelo) + sh (suelo húmedo) – Mc) en gramos.

Vt = Volumen total de la muestra en cm³.

Densidad aparente: Se calculó usando el método del cilindro, para el cual se insertó un cilindro de volumen conocido en el suelo para de esa manera obtener una muestra desde su interior. Posterior a ello, se secó la muestra durante 24 horas a una temperatura de 105 ° C para así conocer el peso de la muestra seca. Se calculó usando la siguiente ecuación (Villaseñor, 2016).

$$D_{ac} = \frac{Mss}{V_t} \quad 3$$

Donde:

Dac = Densidad aparente

Mss = Masa del suelo seco (Mc (masa de la cápsula para secar el suelo) + ss (suelo seco) – Mc) en gramos.

Vt = Volumen total de la muestra en cm³.

Porosidad: El método usado para determinar el espacio poroso de las muestras de suelo, tomó en cuenta los valores encontrados de la densidad real y aparente. Para ello se necesitó de la siguiente ecuación (Curso de Edafología, 2019):

$$\phi = \left(1 - \frac{D_{ac}}{D_r}\right) \times 100$$

4

Donde:

ϕ = Porosidad

Dac = Densidad aparente

Dr = Densidad real

pH del suelo: se utilizó un pH metro, tomando hasta 2/3 del volumen de la muestra, se añadió agua destilada hasta que se forme una pasta saturada y se la dejó en reposo durante 1 hora, para luego medir el pH sumergiendo el electrodo en la pasta (Millán et al., 2018).

Conductividad: Se utilizó un conductímetro el cual debe estar previamente calibrado para la medición de un extracto acuoso, CEH_2O y solución de CaCl_2 de 0,01 M de una muestra de 10 g de suelo, la relación suelo/solvente fue de 1:2 a 1:10 (Millán et al., 2018).

Materia orgánica: Se utilizó el método de calcinación (Mendoza et al., 2021), primero se secó las muestras de suelo al ambiente de 24 a 48 horas, luego se las tamizó por un tamiz de 2 mm y posterior a ello por un tamiz de 0,5 mm. Tras haber realizado el tamizaje se ubicó 5 gramos de suelo en un crisol (previamente pesado y etiquetado) y se secó en una mufla a 550 °C durante dos horas, transcurrido el intervalo de tiempo mencionado, se dejó enfriar el crisol durante una hora y se procedió a calcular la pérdida de peso, para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% M.O = \frac{(\text{Peso muestra (5g)}) - \text{Peso de calcinación a } 550^\circ\text{C}}{\text{Peso muestra (5g)}} * 100\%$$

5

$$\% C.O = 1,724 * \% MO$$

6

Donde:

% M.O = Porcentaje de materia orgánica

% C.O = Porcentaje de carbono orgánico

3.10 Análisis estadístico

Para el cumplimiento del último objetivo se realizó un análisis estadístico con el uso de ANOVA y TUKEY para cada parámetro fisicoquímico evaluado, usando el software Infostat en el cual se realizará distintas operaciones matemáticas para obtener los porcentajes que cada parámetro tiene y de esa manera poder identificar como ha afectado el cambio de uso de suelo en cada parámetro mencionado.

De tal forma que, se elaboró el análisis a partir de distintas matrices de transición generadas por el software, siendo tablas que contienen información sobre los distintos usos de suelo encontrados en la zona y los valores obtenidos para cada propiedad fisicoquímica analizada en la presente investigación. Para determinar el impacto del uso de suelo en las propiedades físico – químicas de este, con ayuda de ANOVA y TUKEY se va a identificar si los valores promedios encontrados en las distintas muestras son significantes respecto a los valores obtenidos.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis multitemporal

4.1.1 Procesamiento de las imágenes satelitales

Se realizó el procesamiento de las imágenes satelitales, en los periodos de tiempo comprendidos entre los años 2010 – 2015 y 2015 – 2020, para ello se trabajó con las siguientes imágenes satelitales:

Tabla 1

Imágenes Satelitales usadas en el análisis multitemporal

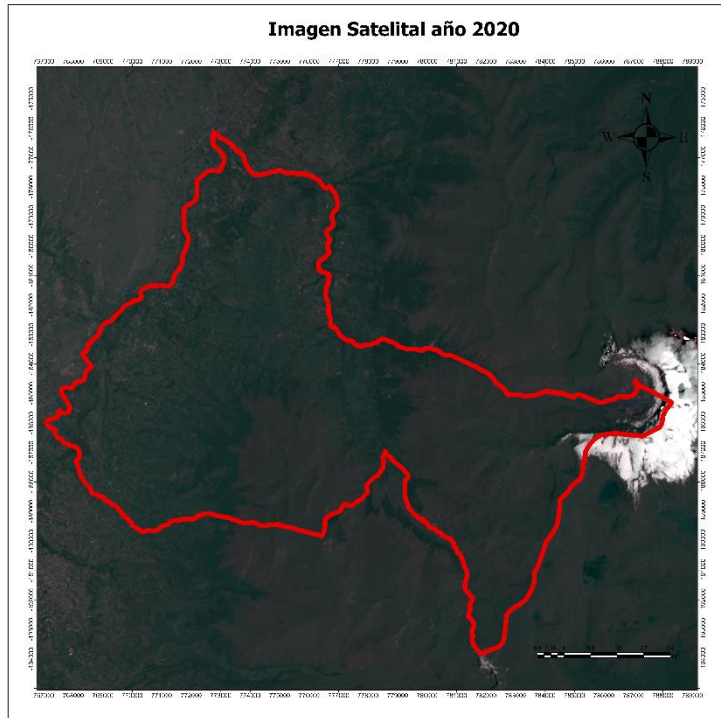
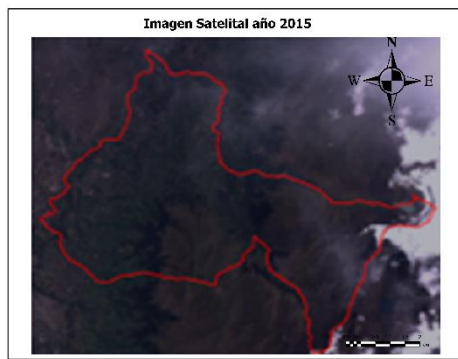
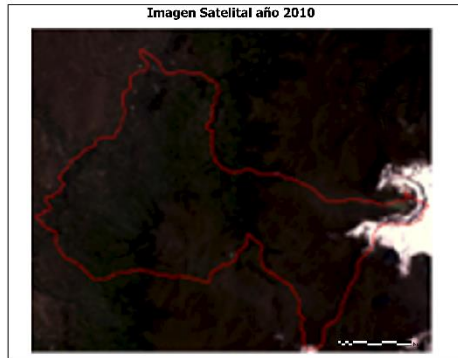
Año	Fecha	Imagen	Nubosidad (%)
2010	2010/07/23	LE7010061210204ASN00	23
2015	2015/07/13	LC80100612015194LGN01	13,85
2020	2020/08/27	LC80100612020240LGN00	31,37


Nota. Esta tabla muestra las fechas en las cuales se tomaron las distintas imágenes para los respectivos periodos de tiempo, junto con la nubosidad de cada imagen.

A continuación, en la Figura 2 se presenta las imágenes satelitales, luego de realizar su respectivo procesamiento.

Figura 2

Imágenes satelitales procesadas



 Unach <small>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</small> <small>ENRIQUE OYOLA RIVERO CALLE DE LA INDEPENDENCIA</small>	FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL	Análisis multitemporal de la parroquia Quimiag Escala 1:25 000 Sistema de Coordenadas: WGS 84 UTM Zone 17S	Mapa de ubicación del área de estudio Diseñado Por: Alexander Dávila Revisado Por: Ing. Carla Silva Fecha: 01/08/2023
		Mapa No. 2	

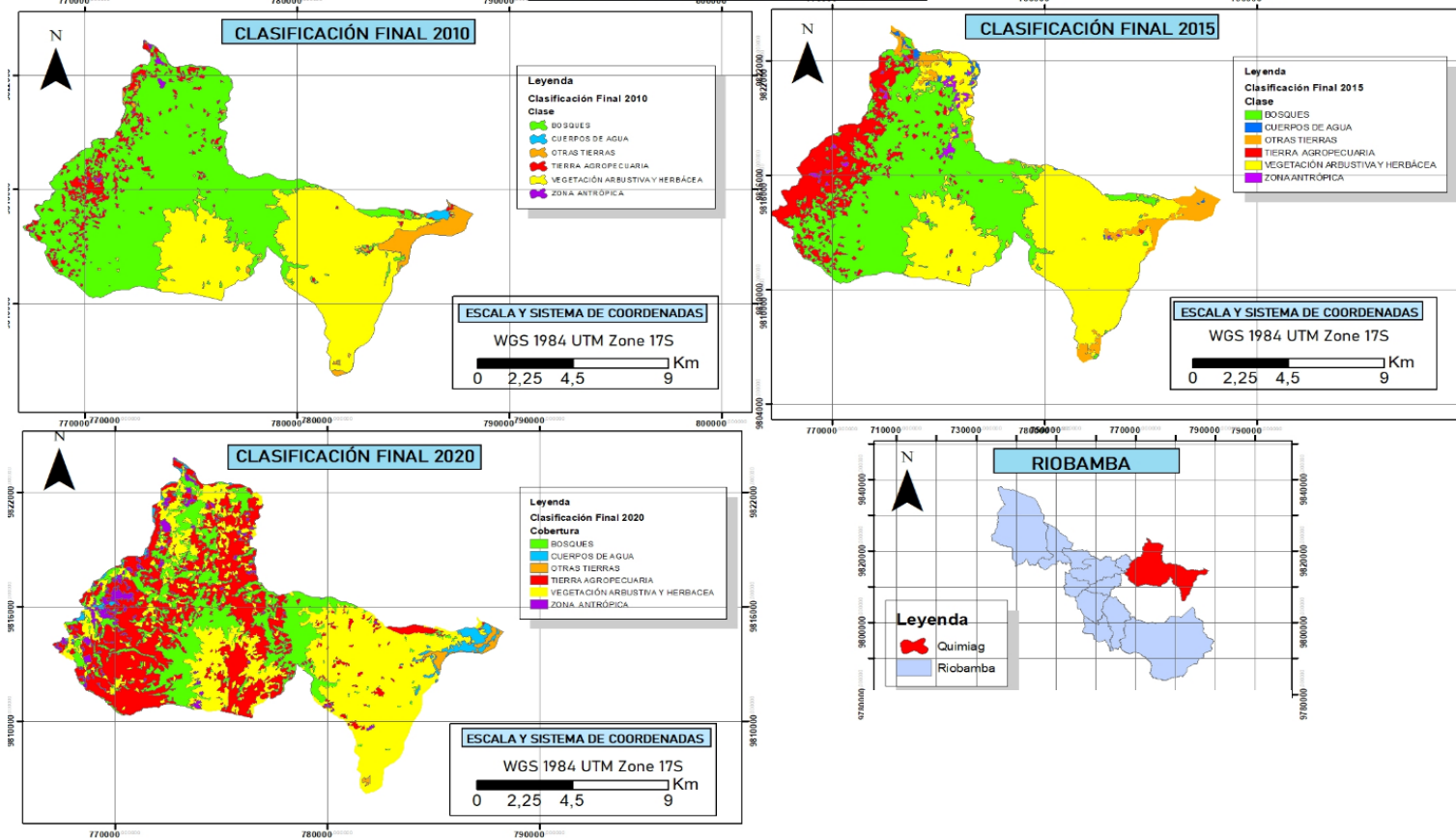
Nota. Se presenta el resultado del procesamiento de las imágenes satelitales en los distintos periodos de tiempo.

4.1.2 Análisis multitemporal

Se determinó los distintos usos de suelo presentes en la parroquia Quimiag, realizando una clasificación supervisada, misma que ayudó a identificar los usos de suelo presentes y el área ocupada por cada uso en los distintos periodos de tiempo del presente estudio, para ello se utilizó la herramienta “*Maximum Likelihood Classification*” la cual luego de haber asignado manualmente los puntos de semejanza, se obtuvo la clasificación final para cada periodo de tiempo. En la **Figura 3** se muestra el cambio de suelo para los distintos periodos de tiempo.

Figura 3
Clasificación final

CLASIFICACIÓN FINAL



<p>Unach UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</p>	<p>FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL</p>	<p>Estudio multitemporal de la parroquia Quimiag</p> <p>Escala 1:25 000</p> <p>Sistema de Coordenadas: WGS 84 UTM Zone 17S</p>	<p>Mapa de ubicación del área de estudio</p> <p>Diseñado Por: Alexander Dávila</p> <p>Revisado Por: Ing. Carla Silva</p> <p>Fecha: 01/08/2023</p>
		<p>Mapa No. 3</p>	

Nota. En el mapa se presenta la clasificación final, resultado del análisis multitemporal realizado.

Luego de realizar la clasificación multitemporal para los distintos periodos de estudio, se comprobó el porcentaje de precisión y error de cada clasificación, obteniendo la matriz de error Kappa, la cual ayuda a determinar la exactitud de las distintas clasificaciones realizadas. Los resultados de la matriz de Kappa se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 2
Matriz de Kappa para el año 2010

CLASIFICACIÓN 2010	B	CA	OT	TA	VA	ZA	Total	ERROR_COMISIÓN	EXACTITUD DEL USUARIO
B	49	0	0	0	0	0	49	0%	100%
CA	0	50	0	0	0	0	50	0%	100%
OT	1	0	50	0	0	0	51	2%	98%
TA	0	0	0	48	0	0	48	0%	100%
VA	0	0	0	0	50	0	50	0%	100%
ZA	0	0	0	2	0	50	52	4%	96%
Total	50	50	50	50	50	50	300		
ERROR_OMISIÓN	2%	0%	0%	4%	0%	0%			

EXACTITUD DEL PRODUCTOR	98%	100%	100%	96%	100%	100%
PRECISIÓN GLOBAL	99,00%					
KAPPA	99,00%					

Nota. Se presenta en la tabla la precisión según la matriz Kappa después de haber realizado la clasificación para el año 2010.

Como se aprecia en la **Tabla 2**, la clase con un porcentaje bajo de precisión (96%), fue la de TA, lo que se puede traducir en que existieron 46 de 50 aciertos posibles, mientras que las clases de CA, OT, VA y ZA presentaron una exactitud del 100%.

Tabla 3

Matriz de Kappa para el año 2015

CLASIFICACIÓN 2015	B	CA	OT	TA	VA	ZA	Total	ERROR_COMISIÓN	EXACTITUD DEL USUARIO
B	50	0	0	0	0	0	50	0%	100%
CA	0	50	2	0	1	0	53	6%	94%
OT	0	0	47	1	0	0	48	2%	98%
TA	0	0	0	48	0	1	49	2%	98%
VA	0	0	0	0	49	0	49	0%	100%
ZA	0	0	0	1	0	46	47	2%	98%
Total	50	50	49	50	50	47	296		
ERROR_OMISIÓN	0%	0%	4%	4%	2%	2%			
EXACTITUD DEL PRODUCTOR	100%	100%	96%	96%	98%	98%			
PRECISIÓN GLOBAL	97,97%								
KAPPA	97,97%								

Nota. La precisión según la matriz de Kappa para el año 2015.

Según los datos presentados en la **Tabla 3**, la clase de uso de suelo CA es la que presenta un menor porcentaje de exactitud, con un 94%, mientras que la clase B tiene un porcentaje de exactitud del 100 %, dando como resultado un porcentaje de precisión global del 97.97%.

Tabla 4

Matriz de Kappa para el año 2020

CLASIFICACIÓN 2020	B	CA	OT	TA	VA	ZA	Total	ERROR_COMISIÓN	EXACTITUD DEL USUARIO
B	50	0	0	0	1	0	51	2%	98%

CA	0	50	4	0	0	1	55	9%	91%
OT	0	0	46	4	5	0	55	16%	84%
TA	0	0	0	43	0	0	43	0%	100%
VA	0	0	0	0	44	0	44	0%	100%
ZA	0	0	0	1	2	49	52	6%	94%
Total	50	50	50	48	52	50	300		
ERROR_OMISIÓN	0%	0%	8%	10%	15%	2%			
EXACTITUD DEL PRODUCTOR	100%	100%	92%	90%	85%	98%			
PRECISIÓN GLOBAL	94,00%								
KAPPA	94,00%								

Nota. Se presenta el porcentaje de precisión para la clasificación realizada para el año 2020.

Para la clasificación multitemporal del año 2020, la clase CA presenta un porcentaje de error del 9%, ya que se cuantificaron 55 puntos de los 50 posibles. Este porcentaje demuestra que la clase CA presenta la mayor cantidad de error en las tres clasificaciones para los distintos periodos.

4.2 Cambio de uso de suelo

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en la clasificación supervisada se pudo hacer uso de la ecuación de la tasa de cambio de uso de suelo, es aquí donde se muestra en la **Tabla 5**, los siguientes resultados obtenidos:

Tabla 5

Cambio de uso del suelo para la parroquia Quimiag en el periodo 2010 - 2015

Clases	Año 2010		Año 2015		TCA
	Ha	%	Ha	%	%
Bosques	7541,22	54,06	5721,91	41,02	-5,37
Tierra Agropecuaria	830,60	5,95	1809,19	12,97	16,85
Vegetación Arbustiva y Herbácea	5029,85	36,06	5522,99	39,59	1,89
Cuerpos de Agua	42,64	0,31	79,83	0,57	13,36
Otras Tierras	463,41	3,32	668,61	4,79	7,61
Zona Antrópica	42,39	0,30	147,61	1,06	28,34
Total	13950,1	100,00	13950,1	100,00	

Nota. En la tabla se muestra el área en hectáreas obtenidas en cada periodo, como también el TCA luego de haber comparado los dos periodos.

De acuerdo con los datos presentados en la **Tabla 5** se puede deducir que la clase de uso suelo “Bosque” es la que presenta una mayor reducción en el periodo 2010 – 2015, ya que disminuye en un 5,37% lo que se traduce a una pérdida anual de 363, 862 ha por año. En cuanto a “Tierra agropecuaria” se muestra una ganancia de un 16,85 % o lo que es igual a un aumento de 98,628 ha por año, mientras que la categoría “Zona antrópica” es la que presenta un mayor cambio con un porcentaje de ganancia de 28,34 % o un aumento de 21,044 ha por año.

Tabla 6

Cambio del suelo para la parroquia Quimiag en el periodo 2015 – 2020

Clases	Año 2015		Año 2020		TCA
	Ha	%	Ha	%	%
Bosques	5721,91	41,02	3168,91	22,72	-11,15
Tierra Agropecuaria	1809,19	12,97	4718,25	33,82	21,13
Vegetación Arbustiva y Herbácea	5522,99	39,59	5229,89	37,49	-1,09
Cuerpos de Agua	79,83	0,57	272,14	1,95	27,79
Otras Tierras	660,65	4,79	133,23	0,96	-27,58
Zona Antrópica	147,61	1,06	427,72	3,07	23,71
Total	13950,1	100,00	13950,1	100,00	

Nota. Se observa el TCA para cada uso de suelo en la fase de tiempo mencionado.

Según los datos presentados en la **Tabla 6**, la clase de uso de suelo “Otras tierras” presenta el mayor cambio negativo de TCA, ya que ha decrecido en un total del 27,78%. Así mismo, la categoría “Bosques” presenta un cambio negativo, con un porcentaje de 11,15%, al pasar de un área de 5721, 91 ha en el año 2015 a 3168,91 ha en 2020, una pérdida anual de 510,60 ha. En cuanto a la clase TA presenta un aumento del 21,13% y por último la clase que presenta un mayor aumento en este periodo es la “Zona antrópica” ya que alcanza un porcentaje de cambio de 23,71% con un aumento de 56,02 ha por año.

Queda así demostrado que la cobertura de bosque es el tipo de uso de suelo que presenta una mayor reducción según los dos periodos de estudio, de 5,37% 2010 -2015 y de 11,15% en el periodo del 2015 – 2020, estos resultados son concordantes con la investigación realizada por (Silva, 2019), donde se realizó un análisis multitemporal sobre el cambio de uso de suelo comprendido entre los periodos 2000, 2010 y 2018, observando una disminución de la cobertura vegetal natural del 4,80%, en particular a las tierras agropecuarias, las cuales revelaron un aumento del 2,74%, destacando que una de las principales causas que motivan el cambio en su uso se vincula con la expansión de las áreas cultivadas.

Se observaron resultados similares en investigaciones realizadas por (Pozo, 2021), donde se observó un incremento en la vegetación arbustiva y herbácea y tierra agropecuaria debido al aumento de la actividad agrícola y ganadera; o en el estudio de (Calderón, 2019), realizado en el cantón Guamote, quien asegura que la introducción de especies como el *Pinus radiata* D (pino) o el *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh (eucalipto) han sido responsables de una reducción del 31,26% en la vegetación arbustiva y herbácea (páramo) en los últimos 10 años.

Las diferencias encontradas en los distintos periodos de tiempo pueden estar relacionadas con la ubicación geográfica, las políticas de conservación, la presión demográfica y las necesidades socioeconómicas. En este sentido, la expansión agrícola se ve como un factor que impulsa la conversión de vegetación arbustiva y herbácea en tierras agrícolas. La necesidad de tierras para cultivos, pastizales o ganadería llevan a la deforestación y a la conversión de áreas de vegetación arbustiva y herbácea en tierras agrícolas, además, las actividades ganaderas influyen en la tasa de cambio de uso de la tierra entre vegetación arbustiva y herbácea y bosques.

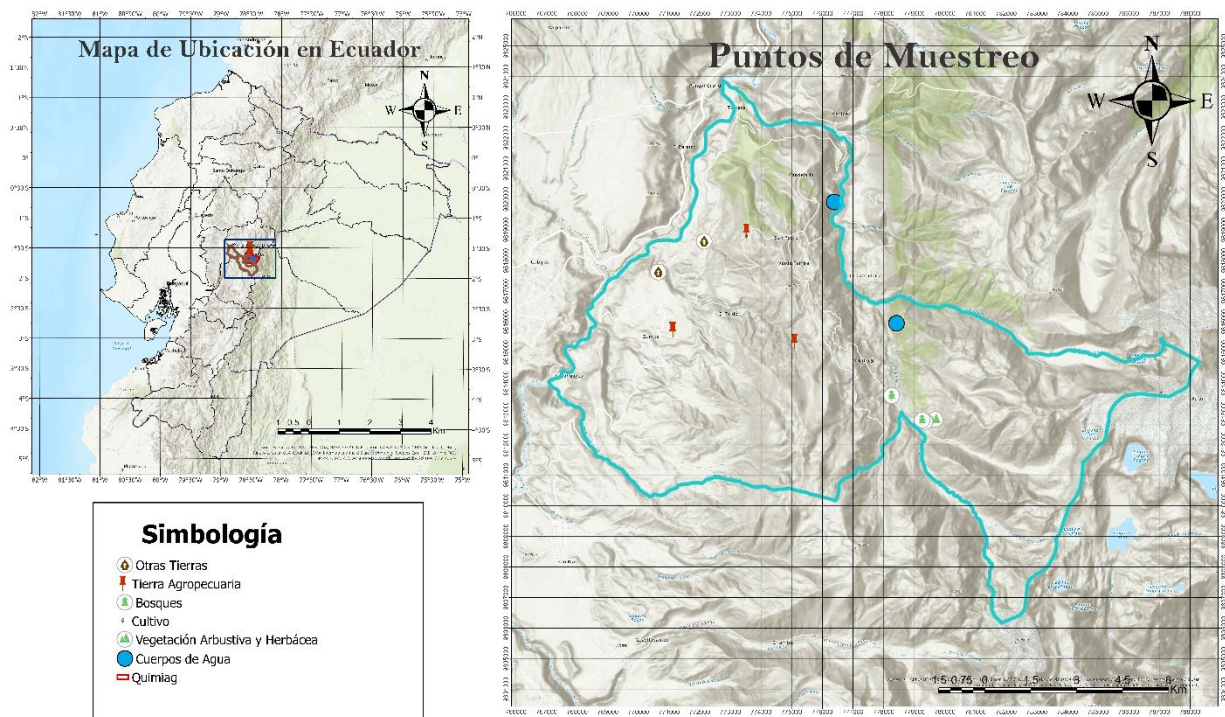
En algunos casos, los bosques son reemplazados con pastizales que sirven de alimentación del ganado. Por otro lado, el crecimiento urbano da lugar a la conversión de áreas de vegetación arbustiva y herbácea con cuerpo de agua en zonas urbanas. La construcción de infraestructura, la expansión de asentamientos humanos y la demanda de suelo para viviendas, industrias y comercios promueven la conversión de áreas verdes en áreas urbanizadas. Finalmente, los cambios en las condiciones climáticas, como el aumento de la temperatura y la disminución de la precipitación, afectan la vegetación arbustiva y herbácea y los cuerpos de agua (Parveen et al., 2018).

4.3 Puntos de muestreo

Una vez se efectuó los análisis correspondientes a las imágenes satelitales y conociendo las áreas de cada clase de cambio de uso de suelo se procedió a realizar el muestreo, el cual fue al azar estratificado como se especificó previamente en la metodología, de dicha manera se obtuvieron los siguientes puntos representados en la **Figura 4** que se presenta a continuación:

Figura 4

Puntos de Muestreo



	Unach FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL	Análisis multitemporal de la parroquia Quimiag		Mapa de ubicación del área de estudio
		Escala 1:25 000		Diseñado Por: Alexander Dávila
		Sistema de Coordenadas: WGS 84 UTM Zone 17S		Revisado Por: Ing. Carla Silva
				Fecha: 01/08/2023

Nota. En el mapa se presenta la ubicación de los puntos de muestreo de los distintos usos de suelo.

4.4 Propiedades fisicoquímicas del suelo

En la **Tabla 7** se muestra los resultados obtenidos de las distintas propiedades de análisis para los usos de suelo.

Tabla 7

Propiedades fisicoquímicas

Clase	Muestra	DR (g/cm ³)	DA (g/cm ³)	Porosidad %	MO %	CO %	pH	CE (ms/cm)
VA	1	1,11	0,54	51,65	18,30	10,62	4,8	0,07
	2	1,18	0,56	52,67	18,58	10,78	4,1	0,32
	3	1,03	0,50	51,10	19,69	11,42	4,9	0,19
TA	1	1,26	1,03	18,49	16,39	9,50	5,48	0,35
	2	1,19	0,98	17,45	8,19	4,75	5,8	0,07
	3	1,25	1,02	18,72	8,10	4,70	5,8	0,12
B	1	1,12	0,61	45,31	20,89	12,12	4,6	0,25
	2	1,07	0,60	44,36	13,57	7,87	4,4	0,17

OT	1	1,18	1,02	13,84	4,74	2,75	5,3	0,32
	2	0,83	0,72	13,60	4,80	2,78	6,6	0,22
CA	1	1,70	1,17	31,19	4,75	2,75	6,2	0,16
	2	1,64	1,19	27,52	3,21	1,86	6,2	0,05
	3	1,68	1,28	23,84	3,01	1,75	6,2	0,06

Nota. En la tabla se indica los resultados del análisis de las propiedades fisicoquímicas del suelo para la utilización del suelo. Vegetación Arbustiva y Herbácea: VA; Tierra Agropecuaria: TA; Bosque: B; Otras Tierras: OT; Cuerpo de Agua: CA.

Densidad Real y Aparente

Las variaciones en los valores de densidad aparente y real se ven justificadas según el estudio de (Ozdemir et al., 2022) donde se ven afectadas por características del suelo como la textura y contenido de materia orgánica, proceso de cultivo y actividades bióticas y por lo tanto, el uso de suelo afecta esta propiedad destacando que a medida que aumenta la densidad de uso del suelo, los valores de densidad aparente también aumentan, puntualizando que, la agricultura intensiva como la labranza o el uso excesivo de maquinaria pesada, deriva en una compactación del suelo, relacionándose de manera directa con el aumento de la densidad aparente, reduciendo la porosidad y ocasionando una mayor compacidad.

Porosidad

En cuanto a la porosidad, las diferencias pueden ser atribuidas a la compactación del suelo y a la presencia de vegetación, que influyen en la capacidad del suelo para retener agua y permitir el paso de aire. Estos resultados son consistentes con los valores más bajos de porosidad en la categoría "OT" con un porcentaje de 13,60%, mientras que la "VA" presentó los porcentajes más altos, alcanzando un 52,67% de porosidad. Estos resultados revelan que el uso de suelo afecta significativamente su porosidad, según el estudio de (Ozdemir et al., 2022) las distintas actividades realizadas en el suelo afectan las características del suelo lo que resulta en una reducción en la porosidad, una mayor retención de agua y un drenaje reducido. Por otro lado, el uso de enmiendas orgánicas y prácticas de conservación puede mejorar la porosidad del suelo al aumentar la formación de agregados y mejorar la estructura del suelo.

Materia orgánica

Se encontró que el valor más alto se presenta en la categoría "B" con un valor del 20,89%, mientras que el valor más bajo se registra en "CA" con un porcentaje de 3,01%. En la categoría "VA", los valores oscilan entre el 18,30% y el 19,69%. El valor más alto en la categoría "B", se debe a la presencia de una gran cantidad de hojas, ramas y otros materiales orgánicos que se acumulan en el suelo de los bosques.

La vegetación arbórea densa y la menor interferencia humana en los bosques permiten la acumulación y descomposición de una mayor cantidad de materia orgánica, lo que contribuye a un suelo más rico en nutrientes, mientras que el valor más bajo en la categoría "CA", se debe a que los cuerpos de agua generalmente carecen de vegetación en el suelo y están expuestos a la acción del agua, lo que dificulta la acumulación y conservación de materia orgánica.

pH

En relación al pH del suelo la categoría "CV" es la más ácida, con valores que oscilan entre 4,1 y 4,9, mientras que "CA" presentan los valores menos ácidos con valores de 6,2. En la categoría "TA", se registraron valores que oscilan entre 5,48 y 5,8. La acidez del suelo está influenciada por varios factores, como la composición química del suelo, la presencia de materia orgánica, la actividad biológica y la interacción con el agua y los nutrientes. En el caso de la categoría "CV", es posible que los suelos presenten mayor acidez debido a la descomposición de la materia orgánica de la vegetación, lo cual libera ácidos orgánicos.

En el caso de "CA", es probable que la presencia de agua y la interacción con los minerales y sedimentos presentes en el suelo actúen como reguladores de pH. El agua puede tener un efecto tamponador, es decir, la capacidad de resistir cambios drásticos en el pH, lo que puede contribuir a mantener un pH más cercano a la neutralidad (Saalidong et al., 2022). Mientras que, en "TA", la actividad agrícola y ganadera puede influir en los valores de pH del suelo. Algunas prácticas agrícolas, como el uso de fertilizantes, pueden acidificar el suelo debido a la liberación de iones de hidrógeno provenientes de la descomposición de los fertilizantes o la oxidación de compuestos nitrogenados.

Conductividad

Se encontró que el valor más bajo se presenta en la categoría "CA" con un valor de 0,05 ms/cm, mientras que el valor más alto se registra en la categoría "TA" con 0,35 ms/cm. En el caso de la categoría "CA", es probable que la baja conductividad eléctrica se deba a la dilución de las sales en el agua de los cuerpos acuáticos. El agua en los cuerpos de agua suele ser menos salina y contiene menos sales disueltas en comparación con los suelos, lo que resulta en una menor conductividad eléctrica.

En contraste, la categoría "TA" puede presentar una mayor conductividad eléctrica debido a la aplicación de fertilizantes, la utilización de aguas de riego con alto contenido de sales o la acumulación de sales debido a la evaporación del agua en la superficie del suelo. Estas prácticas pueden aumentar la concentración de sales en el suelo, lo que a su vez incrementa la conductividad eléctrica. Estas diferencias se asocian con el uso del suelo, dado que, en los CA, se presentan sales disueltas que aumentan la conductividad eléctrica, mientras que, en las TA, el uso de fertilizantes, la calidad del agua de riego y la acumulación de sales debido a la evaporación y la lixiviación son factores que pueden influir en el contenido de sales y, por lo tanto, en la CE del suelo (Bato, 2021).

4.5 Análisis de ANOVA y TUKEY para las propiedades fisicoquímicas del suelo

Los resultados obtenidos para cada propiedad fisicoquímica analizada se muestran a continuación:

4.5.1 Densidad aparente

A continuación, se muestran los resultados correspondientes al análisis de varianza (ANOVA) para la densidad aparente de los distintos tipos de suelo:

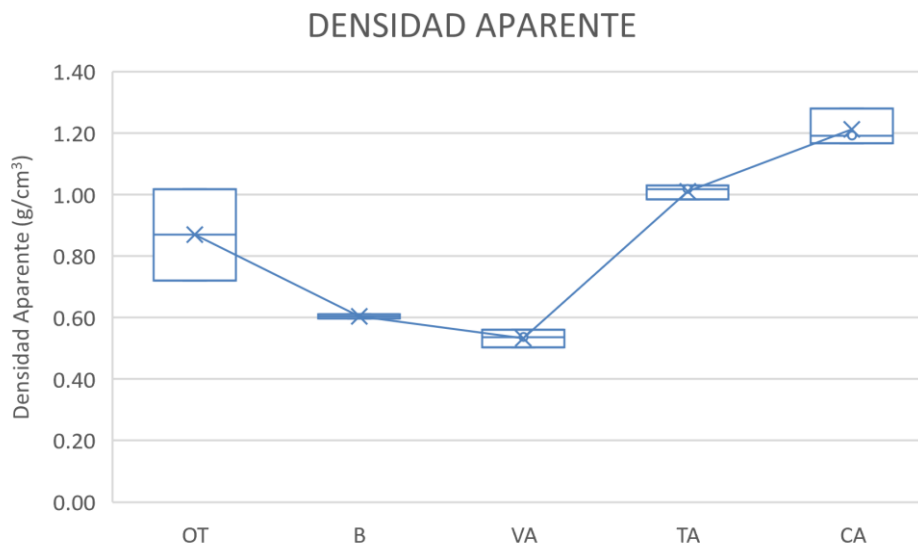
Tabla 8*Resultados del Anova para densidad aparente*

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Densidad aparente	13	0,25	0,00	120,12

Análisis de Varianza					
FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6765,58	4	1691,39	0,68	0,6276
Tratamiento	6765,58	4	1691,39	0,68	0,6276
Error	20034,23	8	2504,28		
Total	26799,81	12			

Nota. N: Número de observaciones, R²: coeficiente de determinación lineal; R²Aj: coeficiente de determinación ajustado; CV: coeficiente de variación, SC: suma de cuadrados; gl: grados de libertad; CM: media cuadrática; F: razón F; p: probabilidad;

Los resultados muestran que el valor p obtenido fue de 0,6276 mayor a 0,05, por lo que se concluye que las medias no presentan diferencias estadísticamente significativas con respecto al tipo de suelo, por lo que, no se hace necesario efectuar la prueba post hoc de Tukey.

Figura 6*Varianza Densidad aparente*

Nota. El gráfico representa el análisis de varianza para la densidad aparente en las clases de suelo.

En el estudio de (Tufa et al., 2019) el valor de la densidad aparente del suelo fue significativamente ($P \leq 0.001$) afectado por el uso del suelo, destacando que la razón de la menor densidad aparente del suelo podría deberse al mayor contenido de arcilla y a la menor perturbación del suelo, mientras que, la mayor densidad aparente observada en tierras cultivadas podría deberse a la práctica de arar en suelo, que tiende a reducir la cantidad de MO de ese suelo a través del tráfico de animales y expone la superficie del suelo al impacto directo de las gotas

de lluvia. No obstante, en el presente estudio puede no haberse afectado, dado que, la densidad aparente está influenciada principalmente por la composición mineral del suelo, que es relativamente constante a lo largo del tiempo y no varía drásticamente con diferentes usos del suelo

4.5.2 Densidad real

A continuación, se muestran los resultados correspondientes al análisis de varianza (ANOVA) para la densidad real de los distintos tipos de suelo:

Tabla 9

Resultados del Anova para densidad real

Variable	N	R²	R² Aj	CV	
Densidad real	13	0,91	0,86	7,93	
Análisis de Varianza					
FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,77	4	0,19	19,57	0,0003
Tratamiento	0,77	4	0,19	19,57	0,0003
Error	0,08	8	0,01		
Total	0,85	12			

Nota. N: Número de observaciones, R²: coeficiente de determinación lineal; R²Aj: coeficiente de determinación ajustado; CV: coeficiente de variación, SC: suma de cuadrados; gl: grados de libertad; CM: media cuadrática; F: razón F; p: probabilidad;

Los resultados muestran que el valor p obtenido fue de 0,0003 menor a 0,05, por lo que se concluye que las medias presentan diferencias estadísticamente significativas con respecto al tipo de suelo; siendo necesario efectuar una prueba Tukey para comparar las medias individuales y determinar cuáles de los tipos de suelo presentan diferencias con respecto a la densidad real, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 10

Prueba Tukey para la densidad real

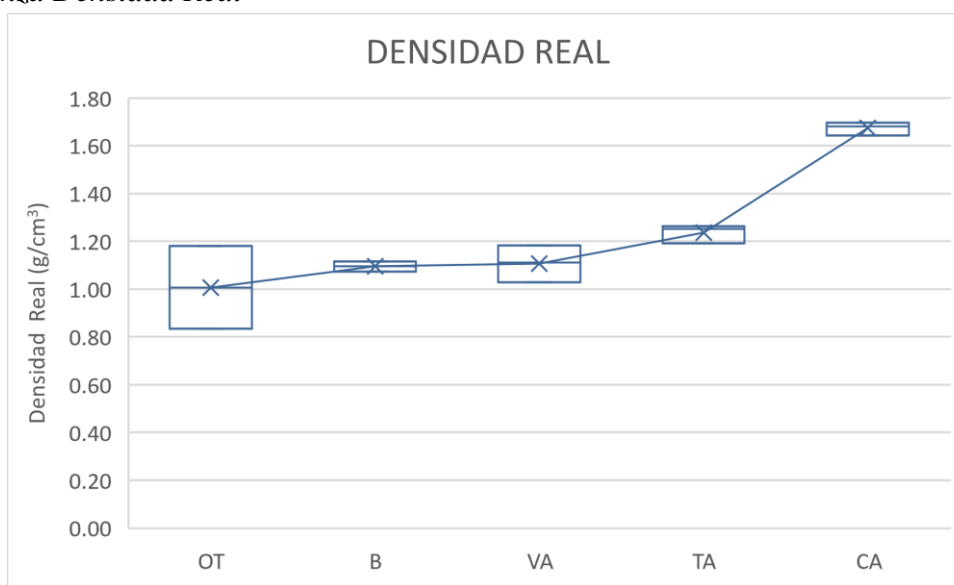
Tratamientos	Medias	n	E.E.	
OT	1,01	2	0,07	A
B	1,10	2	0,07	A
VA	1,11	3	0,06	A
TA	1,23	3	0,06	A
CA	1,67	3	0,06	B

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Los resultados muestran que solo en los cuerpos de agua (CA) es el que presenta diferencias en la densidad aparente en relación al resto de las muestras de suelo analizadas. Estos resultados son diferentes a los obtenidos por (Mengiste et al., 2015) en cuyo estudio determinó que, los valores de densidad real variaron en respuesta a los tipos de uso de la tierra, observando que la densidad de los suelos mostró una tendencia creciente de tierras cultivadas a tierras de pastoreo. Como se indicó previamente, la diferencia de la porosidad en el presente estudio con respecto a los cuerpos de agua, se debe a que esta ocupa los poros del suelo lo que aumenta la densidad aparente, además el agua estática puede conducir a la compresión y compactación de las capas inferiores del suelo y reducir la porosidad, lo que resulta en una mayor densidad aparente.

Figura 5

Varianza Densidad Real



Nota. Este gráfico representa el análisis de varianza de la densidad real para los distintos usos de suelo.

4.5.3 Porosidad

A continuación, se muestran los resultados correspondientes al análisis de varianza (ANOVA) para la porosidad de los distintos tipos de suelo:

Tabla 11

Resultados del Anova para la porosidad

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Porosidad	13	0,99	0,98	6,10	
Análisis de Varianza					
FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2804,32	4	701,08	189,57	<0,0001
Tratamiento	2804,32	4	701,08	189,57	<0,0001

Error	29,59	8	3,70
Total	2833,91	12	

Nota. N: Número de observaciones, R²: coeficiente de determinación lineal; R²Aj: coeficiente de determinación ajustado; CV: coeficiente de variación, SC: suma de cuadrados; gl: grados de libertad; CM: media cuadrática; F: razón F; p: probabilidad;

Los resultados muestran que el valor p obtenido fue de <0,0001 menor a 0,05, por lo que se concluye que las medias presentan diferencias estadísticamente significativas con respecto al tipo de suelo; siendo necesario efectuar una prueba Tukey para comparar las medias individuales y determinar cuáles de los tipos de suelo que presentan diferencias con respecto a la porosidad, obteniendo los siguientes resultados:

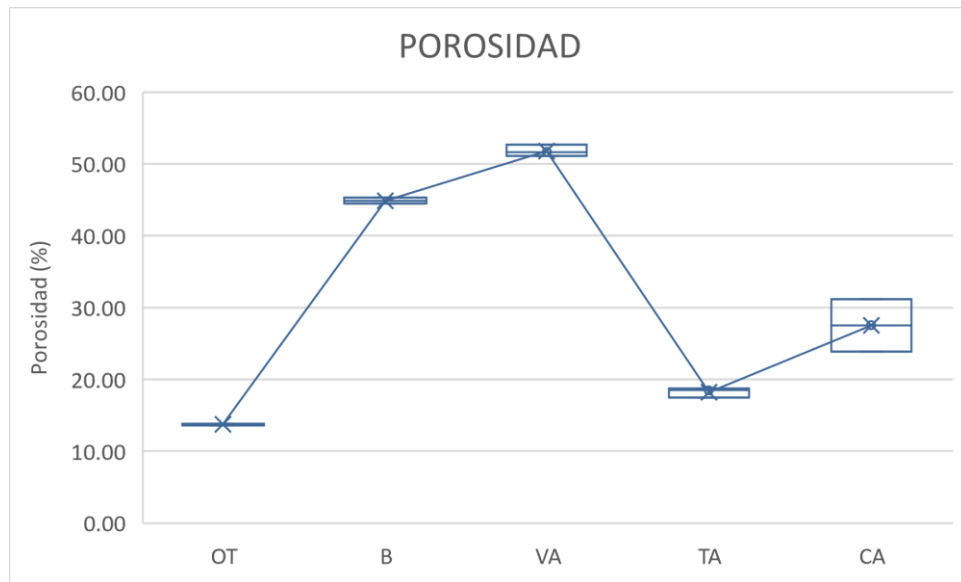
Tabla 12
Prueba Tukey para la porosidad

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
OT	13,72	2	1,36	A	
TA	18,22	3	1,11	A	
CA	27,52	3	1,11		B
B	44,89	2	1,36		C
VA	51,81	3	1,11		D

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Los resultados muestran que todos los usos de suelo presentan diferencias, a excepción de OT y TA cuyos valores de porosidad no presentan diferencias estadísticamente significativas, lo cual puede estar relacionado con el tipo de afectación a la que están expuestas este tipo de uso. Esta similitud en la porosidad podría estar relacionada con el tipo de afectación que experimentan estos usos de suelo, que está asociado a la presión ejercida sobre el suelo y al rompimiento de los agregados. OT generalmente se caracteriza por la ausencia de vegetación, mientras que TA implica labores de cultivo y manejo. Estas condiciones pueden generar un efecto similar en la estructura del suelo, lo cual se refleja en valores de porosidad comparables.

Figura 6
Varianza Porosidad



Nota. La gráfica representa el análisis de varianza de la porosidad.

4.5.4 Materia Orgánica

A continuación, se muestran los resultados correspondientes al análisis de varianza (ANOVA) para la materia orgánica de los distintos tipos de suelo:

Tabla 13

Resultados del Anova para la materia orgánica

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Materia orgánica	13	0,87	0,81	27,60

Análisis de Varianza					
FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	502,13	4	125,53	13,89	0,0013
Tratamiento	502,13	4	125,53	13,89	0,0013
Error	75,01	8	9,38		
Total	577,14	12			

Nota. N: Número de observaciones, R²: coeficiente de determinación lineal; R²Aj: coeficiente de determinación ajustado; CV: coeficiente de variación, SC: suma de cuadrados; gl: grados de libertad; CM: media cuadrática; F: razón F; p: probabilidad;

Los resultados muestran que el valor p obtenido fue de <0,0013 menor a 0,05, por lo que se concluye que las medias de la propiedad correspondiente a la materia orgánica presentan diferencias estadísticamente significativas con respecto al tipo de suelo; siendo necesario efectuar una prueba Tukey para comparar las medias individuales y determinar cuáles de los tipos de suelo presentan diferencias con respecto a esta propiedad, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 14*Prueba Tukey para la materia orgánica*

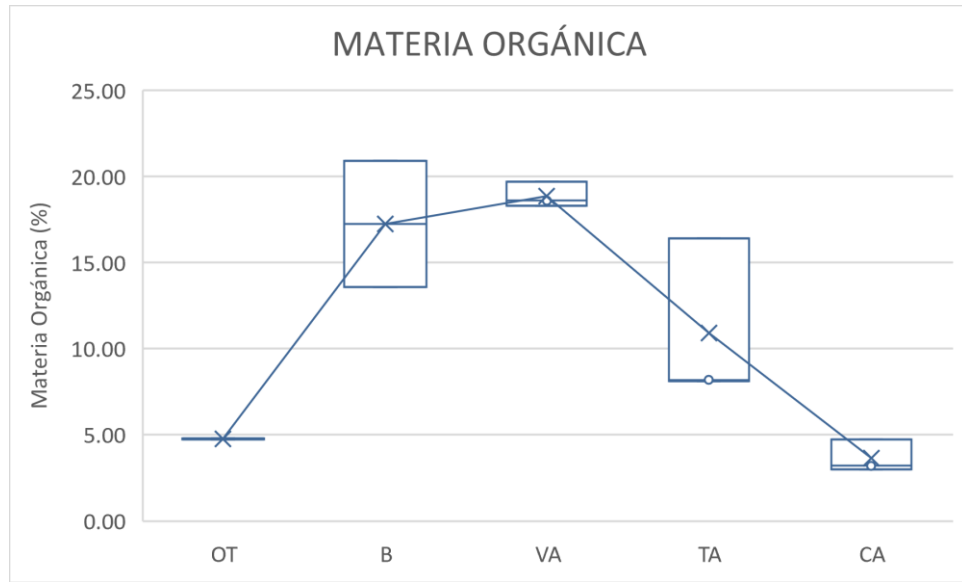
Tratamientos	Medias	n	E.E.	
CA	3,66	3	1,77	A
OT	4,77	2	2,17	A
TA	10,89	3	1,77	A B
B	17,23	2	2,17	B
VA	18,86	3	1,77	B

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Los resultados muestran que la materia orgánica de suelos CA, OT y TA son estadísticamente diferentes a los suelos B y VA. La diferencia entre los tipos de suelo se relaciona con la mayor cantidad y calidad de la materia orgánica en los B y VA como resultado de la acumulación de hojas, ramas, raíces y otros restos vegetales en diferentes etapas de descomposición, además albergan una gran cantidad de organismos vivos, como microorganismos, lombrices, hongos y otros invertebrados, que participan en la descomposición de la materia orgánica y en la ciclación de nutrientes. Por otro lado, los CA, OT y TA pueden presentar una mayor variabilidad en la cantidad y calidad de la materia orgánica, dependiendo de las prácticas de manejo implementadas, estas diferentes circunstancias generan las diferencias estadísticas en la materia orgánica.

Se obtuvieron resultados similares al estudio de (Tufa et al., 2019) en el cual se reveló que los contenidos de MO del suelo se ven afectados significativamente ($P \leq 0.001$) por los tipos de uso del suelo, siendo el valor más alto de MO en el bosque, lo cual se atribuye a la cantidad excesiva de residuos vegetales y biomasa en la superficie de la tierra.

Figura 7*Varianza Materia orgánica*



Nota. La gráfica representa el análisis de varianza para la materia orgánica.

4.5.5 pH

A continuación, se muestran los resultados correspondientes al análisis de varianza (ANOVA) para el pH de los distintos tipos de suelo:

Tabla 15

Resultados del Anova para el pH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	13	0,81	0,72	7,68

Análisis de Varianza					
FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6,05	4	1,51	8,78	0,005
Tratamiento	6,05	4	1,51	8,78	0,005
Error	1,38	8	0,17		
Total	7,43	12			

Nota. N: Número de observaciones, R²: coeficiente de determinación lineal; R²Aj: coeficiente de determinación ajustado; CV: coeficiente de variación; SC: suma de cuadrados; gl: grados de libertad; CM: media cuadrática; F: razón F; p: probabilidad;

Los resultados muestran que el valor p obtenido fue de <0,005 menor a 0,05, es así que se concluye que las medias de la propiedad correspondiente al pH presentan diferencias estadísticamente significativas con respecto al tipo de suelo; siendo necesario efectuar una prueba Tukey para comparar las medias individuales y determinar cuáles de los tipos de suelo presentan diferencias con respecto a esta propiedad, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 16

Prueba Tukey para el pH

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
B	4,50	2	0,29	A
VA	4,62	3	0,24	A
TA	5,68	3	0,24	A B
OT	5,94	2,	0,29	B
CA	6,17	3	0,24	B

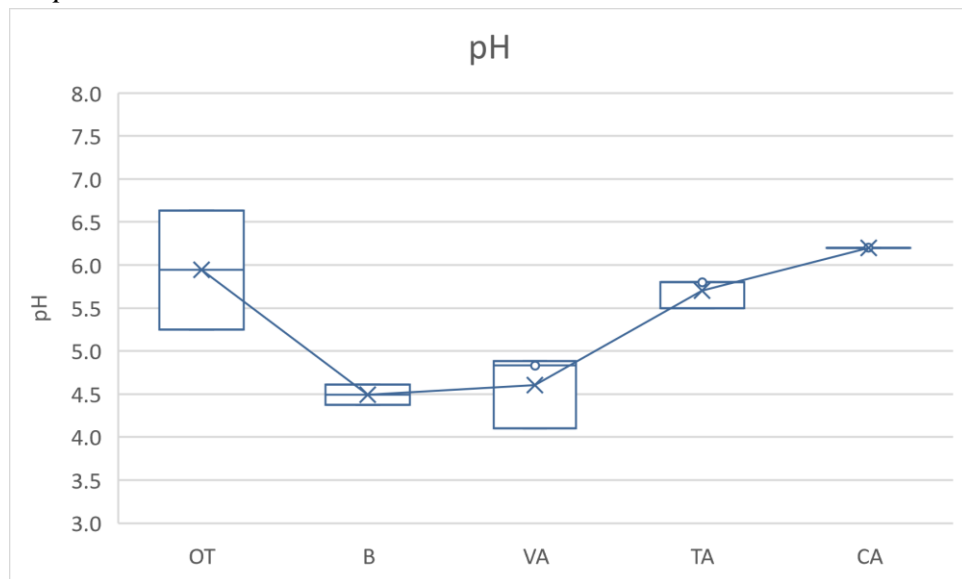
Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Los resultados muestran que el pH de suelos B, VA y TA son estadísticamente diferentes a los suelos OT y CA. En relación a estos últimos, esta propiedad puede estar influenciada por la presencia de sales disueltas, como resultado de la infiltración de agua de riego o de aguas subterráneas con altas concentraciones de sales, además de la acumulación de sales en el suelo debido a prácticas de riego inadecuadas, como el riego excesivo o el uso de agua con alto contenido de sales.

Mientras que en los suelos B, VA y TA el principal elemento está relacionado con la materia orgánica, los fertilizantes y las prácticas de manejo. Por otro lado, estos resultados son diferentes a los obtenidos en el estudio de (Tufa et al., 2019) en el cual, el análisis de varianza indicó que el pH del suelo no se vio afectado significativamente por el uso del suelo, sin embargo, destaco que la cosecha de cultivos deriva en un agotamiento de cationes básicos, lo que genera un valor más bajo de esta propiedad.

Figura 8

Varianza pH



Nota. Esta gráfica representa el análisis de varianza para el pH en las distintas clases de uso de suelo.

4.5.6 Conductividad

A continuación, se muestran los resultados correspondientes al análisis de varianza (ANOVA) para la conductividad de los distintos tipos de suelo:

Tabla 17

Resultados del Anova para la conductividad

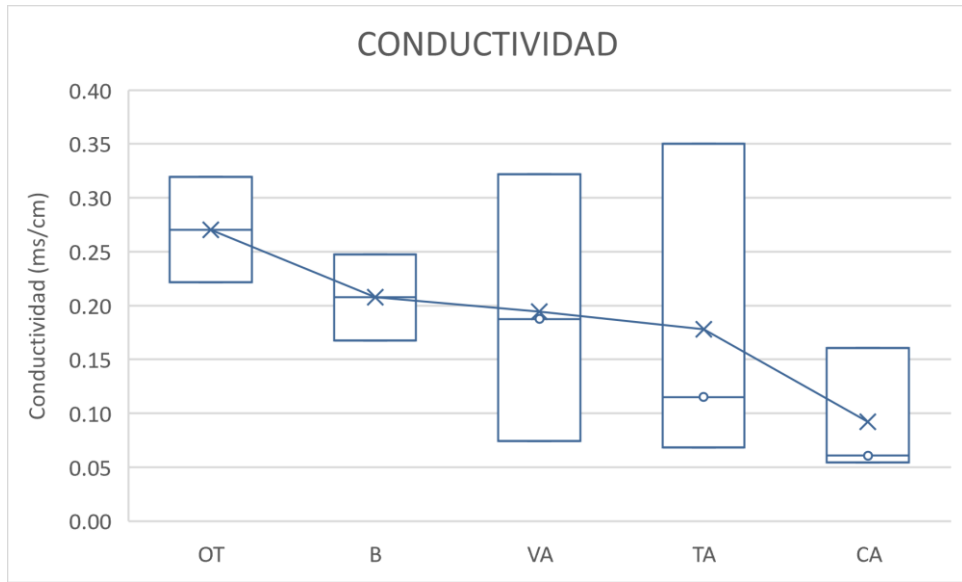
Variable	N	R²	R² Aj	CV		
Conductividad	13	0,32	0,00	59,15		
Análisis de Varianza						
FV	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	0,04	4	0,01	0,94	0,4897	
Tratamiento	0,04	4	0,01	0,94	0,4897	
Error	0,09	8	0,01			
Total	0,13	12				

Nota. N: Número de observaciones, R²: coeficiente de determinación lineal; R²Aj: coeficiente de determinación ajustado; CV: coeficiente de variación, SC: suma de cuadrados; gl: grados de libertad; CM: media cuadrática; F: razón F; p: probabilidad;

Los resultados muestran que el valor p obtenido fue de 0,4897 mayor a 0,05, por lo que se concluye que las medias de la propiedad correspondiente a la conductividad no presentan diferencias estadísticamente significativas con respecto al tipo de suelo, por lo que, no se hace necesario efectuar la prueba post hoc de Tukey. Estos resultados no son similares a los obtenidos por (Tufa et al., 2019) en cuyo estudio determinó que los valores de CE de los suelos fueron significativamente ($P \leq 0.01$) afectados por los tipos de uso de la tierra.

Figura 9

Varianza Conductividad.



Nota. Esta gráfica representa el análisis de varianza para la conductividad.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La tasa de cambio de suelo en la parroquia Quimiag en el periodo de estudio 2010 – 2015, sufrió cambios considerables en lo que se refiere al uso de suelo “Bosque” con una reducción del 5,37%, dando como resultado un aumento en “Tierra Agropecuaria” en un 16,85%. Esto se debe a que la deforestación, conversión de tierras para fines agropecuarios y urbanos se han convertido en una constante en la forma de vivir de los habitantes de la parroquia, lo que se ve reflejado en un cambio en el uso de suelo, no solo en las clases mencionadas, también en la “Vegetación Arbustiva y Herbácea” y “Otras Tierras” las cuales, aunque en menor medida presentan cambios que marcan una dinámica que hace presencia en la TCA del periodo 2015 – 2020, donde el aumento de la frontera agrícola es aún mayor que en el periodo anterior, con una reducción de los “Bosques” del 11,15% y un aumento en “Tierra Agropecuaria” del 21,13%, dichos cambios en el uso de suelo, presentan impactos negativos en la biodiversidad, la calidad del aire y agua.

El análisis de las propiedades fisicoquímicas para los distintos usos de suelo permitió conocer la calidad del suelo en la zona de estudio, los resultados de densidad real tuvieron sus valores más altos en la categoría “CA” con valores de hasta 1,70 g/cm³ y valores más bajos en la “VA” con 1,03 g/cm³, estos resultados se relacionan con la materia orgánica ya que en los “CA” se encontró valores de hasta un 3,01 % de presencia de materia orgánica, en cambio en “VA” se tiene la mayor presencia con un 19,69%, se puede decir entonces, que la densidad real de los usos de suelo presentes en la parroquia Quimiag son inversamente proporcionales a los valores encontrados en la materia orgánica, esto se debe a que el valor de la densidad real aumenta de forma considerable conforme reduce la altitud y ocurre lo contrario con la materia orgánica, la cual es mayor a mayores altitudes, esto debido a una menor presencia de intervención humana en los suelos.

El cambio de uso de suelo en la parroquia Quimiag ha afectado considerablemente en el periodo 2015 – 2020 a los “Bosques” (una reducción del 11,15%), la “Vegetación arbustiva y herbácea” (una reducción del 1,09%), lo que puede generar un cambio significativo en la funcionalidad del paisaje, ya que al reducirse áreas que durante siglos han sido tradicionalmente el hábitat de diferentes especies, se infiere que la sociedad está sufriendo una transformación modificando sus usos y costumbres, lo que se puede evidenciar con el aumento de la clase “Tierra Agropecuaria” (21,13%) y está teniendo un balance negativo ya que como se evidencia en la presente investigación en los distintos intervalos de tiempo estudiados, existe una tendencia a aumentar el área de la clase “TA” y a reducir la clase “B”, lo que evidencia que los agricultores sobrepasan la frontera agrícola en busca de nuevas tierras idóneas para sus cultivos.

La importancia de esta investigación para la parroquia Quimiag es conocer las causas y predecir los posibles cambios en el uso de suelo que se podrían dar a futuro según la dinámica de la comunidad, por lo que a través del análisis multitemporal se demostró una reducción en la clase “B” y “VA” siendo una de las principales causas, las malas prácticas agrícolas, la quema, extracción de madera y leña y la destrucción de bosques nativos que fueron reemplazados por pastos mejorados para alimentar al ganado. Con dicha información se puede realizar una proyección a futuro la cual permitirá tomar decisiones a las autoridades considerando las causas sociales, económicas, políticas y culturales y así mejorar los cambios actuales de uso de suelo de la parroquia Quimiag.

Recomendaciones

Proponer estrategias a las autoridades ambientales competentes con el fin de fortalecer el marco normativo vigente, así como el desarrollo de políticas orientadas a la protección y conservación del suelo y reducir el avance descontrolado y poco planificado de la frontera agrícola.

Evaluar los factores sociales, económicos, culturales, históricos y de otro tipo que resultan determinantes en los cambios de suelo evaluados, con el fin de establecer sus causas, lo que permitirá una mayor comprensión del comportamiento de la cobertura vegetal y permitirá sustentar una adecuada planificación territorial considerando las particularidades de la zona de estudio.

Socializar los presentes hallazgos a las comunidades con el fin de concientizar a las comunidades, sobre la importancia de una adecuada gestión y manejo de los usos de suelo y la protección de los diferentes ecosistemas presentes en el país.

Realizar capacitaciones constantes a los agricultores sobre las técnicas idóneas y amigables con el uso del suelo, para evitar la desertificación del suelo provocada por las técnicas de monocultivo que se practican en la zona y así prevenir que las personas tengan que migrar en busca de nuevos suelos que sean aptos para las prácticas agropecuarias.

CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA

- Andreu, A., Carpintero, E., & González - Dugo, M. (2021). *Teledetección para la agricultura*. JUNTA DE ANDALUCIA. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiqqNaP1JiAAxVBk2oFHXe4BWsQFnoECCAQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.juntadeandalucia.es%2Fagriculturaypesca%2Fifapa%2Fservifapa%2Fregistro-servifapa%2Fbdac6055-21a9-4dd7-8cba->
- Bato, Y. (2021). *Effect of different land use systems and soil depths on soil chemical properties alteration in Yerer forests and its surrounding area, at the central highland of Ethiopia*. Ambo University. <https://assets.researchsquare.com/files/rs-12673/v1/396c49fe-9946-4bba-8302-5a4624f673eb.pdf?c=1631830207>
- Calderón, J. (2019). *LA PRESIÓN ANTRÓPICA Y SUS CONSECUENCIAS EN EL PÁRAMO DEL CANTÓN GUAMOTE PROVINCIA DE CHIMBORAZO*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/17617/La%20presi%C3%B3n%20antr%C3%B3pica%20y%20sus%20consecuencias%20en%20el%20p%C3%A1ramo%20del%20cant%C3%B3n%20Guamote.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cantú, I., & Yáñez, M. (Febrero de 2018). Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(45), 134-140. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.138>
- Carrillo, G., Andrade, J., Valdez, J., Reyes, C., & Hernández, J. (2022). Characterizing spatial and temporal deforestation and its effects on surface urban heat islands in a tropical city using Landsat time series. *Landscape and Urban Planning*, 217. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104260>
- Carrión, R., Yaguache, R., Martínez, M., Silva, S., & Gonzaga, L. (2013). *Plan de manejo y cogestión de la microcuenca hidrográfica del río Blanco*. Riobamba: GAD de la provincia de Chimborazo.
- Cremona, M. V., & Enriquez, A. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. *Presencia*(73), 5-8. <https://doi.org/oai:localhost:20.500.12123/7709>
- Curso de Edafología. (2019). *Porosidad y aireación, densidad real y aparente*. UNLP.
- Diez, D., Barr, C., & Cetinkaya, M. (2019). *OpenIntro Statistics: Fourth Edition*.
- Escandón, J., Ordóñez, J., Nieto, M., & Ordóñez, M. (2018). Cambio en la cobertura vegetal y uso de suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46), 30-32. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.135>
- Eyherabide, M., Sainz, H., Barbieri, P., & Echeverria, H. (2014). Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelos. *Ciencia del Suelo*, 32(1), 13-19.

- FAO . (1996). *Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes*. Roma: FAO.
- Flórez, G., Rincon, A., Cardona, P., & Alzate, A. (2017). Análisis multitemporal de las coberturas vegetales en el área de influencia de las minas de oro ubicadas en la parte alta del sector de Maltería en Manizales, Colombia. *DYNA*, 84(201), 95-101. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.55759>
- Galindo, R., Pérez, M., Reynoso, R., Rosas, O., & González, C. (5 de Febrero de 2019). Cambio de uso de suelo, fragmentación del paisaje y la conservación de *Leopardus pardalis* Linnaeus, 1758. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(52), 152-160. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i52.395>
- Gómez, J., Novelo, R., & Astudillo, M. (2017). Efecto de las descargas domésticas y de beneficio de café sobre la calidad del agua y la diversidad de larvas de Odonata (Insecta) en un arroyo de bosque mesófilo de montaña en Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 372-373.
- Herrera, D., Ellis, A., Fisher, B., Golden, C., Johnson, K., Mulligan, M., . . . Ricketts, T. (2017). Upstream watershed condition predicts rural children's health across 35 developing countries. *Nature Communications*(811), 1-8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41467-017-00775-2>
- León, T., & Garavito, L. (2021). Procesamiento de imágenes satelitales. *L'Esprit Ingenieux*, 11(1), 33-49. <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/2332>
- Logroño, S., López, C., Moyano, M., & Oyague, E. (2020). El alcance de la teledetección satelital utilizando modelos estadísticos y físicos y sus beneficios en áreas contables. *Revista Científica Dominio de las Ciencias*, 6(2), 22-40. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i2.1142>
- Luque, L. (2023). Revisión Sistemática de Literatura de Imágenes Satelitales en Hidrología y Agricultura. *RISTI*(55), 264-278. <https://doi.org/16469895>
- MAE. (2017). *Protocolo metodológico para la generación de mapas de deforestación del Ecuador continental*. Quito: Ministerio del Ambiente de Ecuador.
- Mendoza, B., Fiallos, M., Iturralde, S., Santillán, P., Guananga, N., Bejar, J., . . . Sándor, Z. (2021). Determination of field capacity in the Chibunga and Guano rivers micro-basins. *F1000 Research*, 1-14. <https://doi.org/https://doi.org/10.12688/f1000research.28143.1>
- Mendoza, R., & Espinoza, A. (2017). *Guía Técnica para Muestreo de Suelos*. Managua: Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services (CRS).
- Mengiste, W., Mohammed, M., & Yitebarek, T. (2015). Evaluation of the Effect of Land Use Types on Selected Soil Physico-Chemical Properties in Itang-Kir Area of Gambella. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*. <https://www.researchgate.net/publication/328662919>

- Millán, F., Prato, J., & Sánchez, A. (2018). Estudio metodológico sobre la medición de pH y conductividad eléctrica en muestras de compost. *Revista Colombiana de Química*, 22-23.
- Novillo, I., Carrillo, M., Cargua, E., Nabel, V., Albán, K., & Morales, F. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de los Ríos, Ecuador. *Temas Agrarios*, 23(2), 177-180. <https://doi.org/http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5297>
- Ozdemir, N., Demir, Z., & E. B. (2022). Relationships between some soil properties and bulk density under different land us. *Soil Studies*, 11(2), 43-50. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2828844>
- Parveen, S., Praveen, B., & Bashir, J. (Julio de 2018). A literature review on land use land cover changes. *International Journal of Advanced Research*, 1-7. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/7327>
- Pozo, E. (2021). *EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DE LA CUBIERTA FORESTAL EN LA PARROQUIA COLONCHE, PROVINCIA DE SANTA ELENA*. UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/7564/1/UPSE-TIA-2022-0020.pdf>
- Prefectura de Chimborazo. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2020-2030*. Riobamba: Prefectura Chimborazo.
- Ramírez, J., Fernandez, Y., González, P., Salazar, X., Iglesias, J., & Olivera, Y. (2015). Influencia de la fertilización en las propiedades físico-químicas de un suelo dedicado a la producción de semilla de *Megathyrus maximus*. *Pastos y Forrajes*, 4(38), 393-395.
- Ruiz, V., Savé, R., & Herrera, A. (5 de Noviembre de 2013). Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Mirafior Moropotente Nicaragua, 1993 - 2011. *Ecosistemas*, 22(3), 117-123. <https://doi.org/10.7818/ecos.2013.22-3.16>
- Saalidong, B., Appah, S., Otu, S., & Osei, P. (2022). Examining the dynamics of the relationship between water pH and other water quality parameters in ground and surface water systems. *Plos One*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262117>
- Silva, W. (2019). *ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PARROQUIA SIXTO DURÁN BALLÉN*. UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ. <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1881/1/UNESUM-ECU-ING.MEDIO-2019-12.pdf>
- Smith, P., House, I., Bustamante, J., Sobock, J., Harper, R., Pan, G., . . . Pugh, A. (2016). Global changes pressures on soils from land use and management. *Global Change Biology*, 1008-1028.
- Trujillo, J., Mahecha, J., & Torres, M. (2018). El recurso suelo: un análisis de sus funciones, capacidad de uso e indicadores de calidad. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), 29-32. <https://doi.org/https://doi.org/10.22490/21456453.2095>

- Tufa, M., Melese, A., & Tena, W. (2019). Effects of land use types on selected soil physical and chemical properties: The case of Kuyu District, Ethiopia. *Eurasian J Soil Sci*, 8(2), 94 - 109. <https://doi.org/10.18393/ejss.510744>
- Veneros, J., García, L., Morales, E., & Gómez, V. (2020). Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua. *IDESIA*, 30(4), 99 - 107. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000400099>
- Villaseñor, D. (2016). *Fundamentos y procedimientos para análisis físicos y morfológicos del suelo*. UTM. <https://doi.org/978-9942-24-082-8>

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Figura 10

Autorización del GAD Parroquial de Quimiag



Quimiag, 12 de enero del 2022
Oficio N°020-P-2022-GADPRQ

Ing.
Carla Fernanda Silva P
DOCENTE CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL-UNACH
Presente.-

De mi consideración,

Reciba un atento y cordial saludo a nombre del Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Quimiag, a la vez que le deseamos toda clase de éxitos en sus acertadas funciones.

En contestación al oficio N°003-2022, me permito indicar que existe la autorización correspondiente para que el señor Alexander Dávila, estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental de la UNACH, realice su trabajo de titulación en el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Quimiag.

Particular que informo, para los fines pertinentes.

Atentamente;



Ab. José Daquilema
PRESIDENTE GADPR QUIMIAG
Ct: 0603834250
Telf: 2340-078-0991110029
E-mail: chimborazo_quimiag13@hotmail.com
Ela. Por. I L Rev. Por. J D

JUNTOS POR EL SUMAK KAWSAY

Dirección Principal sin Edificio Central de la Casa Parroquial
Telf: (03) 2340-078 / Email: chimborazo_quimiag13@hotmail.com
QUIMIAG - CHIMBORAZO - ECUADOR

Figura 11

Vegetación arbustiva de Quimiag



Figura 12

Cultivos de Quimiag



Figura 13

Toma de muestra para la densidad real



Figura 14

Secado de las muestras



Figura 15
Pesado de las muestras



Figura 16
Tamizado de las muestras



Figura 17

Agitación de las muestras para la medición de pH

