

**Efecto del Cambio de Uso del Suelo en la Calidad del Agua en el Páramo del
Almorzadero**

Diego Leonardo Rojas Hernández, Karol Yizeth Duarte Manrique

**Trabajo de Grado para Optar al título de
Ingeniero Forestal**

Directora

**Erika Mayerly Celis Celis
Química**

Codirectores

**Steven Ricardo Mora González
Cand. Master of Science Geographical Information Science**

**Diego Suescún Carvajal
MSc. en Bosques y Conservación Ambiental**

Universidad Industrial de Santander

Instituto de proyección Regional de Educación a Distancia IPRED

Programa de Ingeniería Forestal

Bucaramanga

2020

Dedicatoria

Dedicamos el presente trabajo investigativo principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener nuestro título de ingenieros forestales uno de los anhelos más deseados, a nuestros padres que nos han permitido trazar nuestro camino, para nosotros la mejor herencia que nos pueden dejar son los estudios, sin embargo, no creo que sea el único legado del cual nos sentimos agradecidos, ustedes son nuestros pilares de vida Fanny Yolanda Manrique Blanco, Hildebrando Antonio Duarte Medina, María Gladys Hernández Gómez y Rigoberto Rojas Castro gracias por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos, ser sus hijos es un orgullo y privilegio, así mismo, nuestras hermanas Carmen Andrea Rojas Hernández, Keyler Dayanna Duarte Manrique y Lizbeth Tatiana Duarte Manrique por estar siempre presentes, acompañándonos y brindándonos apoyo moral a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.

Agradecimientos

Un agradecimiento especial a nuestra directora Erika Mayerly Celis Celis pues gracias a sus consejos y correcciones hoy podemos culminar este trabajo, al codirector Steven Ricardo Mora González, los profesores Msc Diego Suescun Carvajal y Ph. Julián Mauricio Botero quienes con sus valiosos conocimientos nos enseñaron y guiaron día a día a crecer como personas y profesionales, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad. A todos nuestros amigos y futuros colegas Ing. Forestal. María Fernanda Pineda Mora y María Stephanie Rosales Cáceres, Tesistas UIS; Cesar Gerardo Correa Millán, Mónica Julieth Sánchez Cárdenas; Lizeth Johana Santamaría Vega, Hayde Yergeny Barón Alarcón, Estudiante UIS. Nelcy Mayerli Hernández Mora, hermana Keyler Dayanna Duarte Manrique, amigo Maikol Andrés Niño Niño y nuestros padres Rigoberto Rojas Castro, Hildebrando Antonio Duarte Medina por la ayuda y acompañamiento en las labores de campo, gracias infinitas por toda su ayuda y buena voluntad, los verdaderos y grandes amigos son duros de encontrar, difíciles de dejar, e imposibles de olvidar. Nos van a faltar paginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo, sin embargo, hacemos especial enfoque a la Organización Campesina coexistiendo con el Cóndor – OCC quienes nos acogieron en el seno de sus hogares, el Ing. Rubén Carvajal, Zootecnista. Eywar Leonardo Niño Flórez, Parque Jaime Duque, SENNOVA, Colciencias, por permitirnos hacer parte de la tercera fase del proyecto Reconversión del sistema ganadero ovino extensivo a un sistema de semi-estabulación como alternativa para la reducción y mitigación del conflicto entre el hombre y el Cóndor de los Andes. Finalmente queremos expresar nuestro más grande y sincero agradecimiento a la Universidad Industrial de Santander por ser la sede de todo el conocimiento adquirido en estos años a nuestra familia quienes han puesto toda su confianza para lograr un objetivo más en nuestra vida.

Tabla de Contenido

Introducción	13
1.Objetivos	15
1.1. Objetivo General	15
1.2. Objetivos Específicos	15
2. Antecedentes	16
3. Marco Referencial	17
3.1. Marco Teórico	17
3.1.1. El Páramo Como Ecosistema Estratégico Proveedor De Servicios Ecosistémicos.	17
3.1.2. Caracterización De La Flora Asociada A Los Páramos.	19
3.1.3. Calidad Del Agua (Parámetros Físicoquímicos Y Microbiológicos) Y Su Afectación Por Cambio De Uso Del Suelo.	30
3.1.3.1. Parámetros Físicoquímicos.	23
3.1.3.2. Parámetros Microbiológicos.	25
3.1.4. Efectos De La Eutrofización Como Consecuencia Del Cambio En El Uso Del Suelo.	26
3.1.5. Normas Para La Calidad Del Agua	27
3.1.5.1.Resolución 0631 De 17 De Marzo De 2015: Norma Para Vertimientos De Agroindustria Y Ganadería A Cuerpos De Aguas Superficiales. Capítulo VI.	27
3.1.5.2. Resolución 2115 Del 22 De Junio 2007: Norma Para Calidad Del Agua Para Consumo Humano. Capítulo II Y III.	28
3.1.6. Decreto 2245 Del 29 De Diciembre De 2017: Norma Basada En El Acotamiento De Rondas Hídricas Para La Preservación Del Cauce.	28
3.2. Marco Conceptual	29

	5
4. Metodología	31
4.1. Área De Estudio	31
4.2. Selección De Fuentes Hídricas	32
4.2. Clasificación De La Cobertura Con Base En El Uso Del Suelo	33
4.3. Parámetros Fisicoquímicos Y Microbiológicos Y Toma De Muestras De Agua	36
4.3.1. Criterios De Envasado De Las Muestras.	37
4.3.2. Preservación De Muestras.	37
4.3.3. Análisis De Muestras.	37
4.4. Diseño Experimental	37
4.4.1. Análisis Estadístico.	38
5. Resultados Y Discusión	38
5.1. Parámetro Fisicoquímico	38
5.1.1. Temperatura.	38
5.1.2. Magnesio.	39
5.1.3. Calcio.	40
5.1.4. Dureza Total.	41
5.1.5. Alcalinidad Total.	41
5.1.6. Ph.	42
5.1.7. Hierro.	44
5.1.8. Nitratos.	44
5.1.9. Nitritos.	45
5.1.10. Sulfatos.	46
5.1.11. Demanda Química De Oxígeno (DQO).	47

USO DEL SUELO Y CALIDAD DEL AGUA	6
5.1.12. Fosfatos.	48
5.2. Parámetros microbiológicos	48
5.2.1. Coliformes Totales.	49
5.2.2. Escherichia Coli.	49
6. Conclusiones	52
7. Recomendaciones	53
Referencia Bibliográficas	55
Apéndices	59

Lista de Figuras

Figura 1. Mapa localización del proyecto	32
Figura 2. Mapa de localización espacial de los puntos de muestreo	33
Figura 3. Mapa de la clasificación del uso del suelo para cultivo	35
Figura 4. Clasificación de usos del suelo (Puntos de monitoreo en pastos)	35
Figura 5. Clasificación de usos del suelo (Puntos de monitoreo en natural)	36

Lista de Tablas

Tabla 1. Valores límites máximos permisibles en los vertimientos de aguas provenientes de la ganadería y la agroindustria a cuerpos de aguas superficiales	27
Tabla 2. Valores máximos permisibles para parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua para el consumo humano	28
Tabla 3. Resultados de Temperatura para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos	39
Tabla 4. Resultados de Magnesio para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos	39
Tabla 5. Resultados de Calcio para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos	40
Tabla 6. Resultados de Dureza total para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos	41
Tabla 7. Resultados de Alcalinidad total para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos	42
Tabla 8. Resultados de pH para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos	43
Tabla 9. Resultados de Hierro para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos	44
Tabla 10. Resultados de Nitratos para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos	45

Tabla 11. Resultados de Nitritos para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos	45
Tabla 12. Resultados de Sulfatos para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos	46
Tabla 13. Resultados de DQO para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos	47
Tabla 14. Resultados de Fosfatos para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos	48
Tabla 15. Resultados de Coliformes totales para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos	49
Tabla 16. Resultados de <i>Escherichia coli</i> para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos	50

Lista de Apéndices

Apéndice A Etiqueta para muestras de agua.....	59
Apéndice B. Formulario de recolección de datos	59
Apéndice C. Socialización del convenio	60
Apéndice D. Socialización del trabajo a realizar	60
Apéndice E. Reconocimiento de la zona	61
Apéndice F. Cobertura Natural.....	61
Apéndice G. Pastizales.....	62
Apéndice H. Cultivos.....	62
Apéndice I. Determinación del área de los diferentes cuerpos de agua.....	63
Apéndice J. Georreferenciación de los cuerpos de agua.....	63
Apéndice K. Tabulación de datos.	64
Apéndice L. Georreferenciación de los puntos de muestreo para la calidad del agua.....	64
Apéndice M. Recipientes para la recolección de las muestras.	65
Apéndice N. Toma de temperatura en el agua.	65
Apéndice O. Toma de muestra fisicoquímica.....	66
Apéndice P. Toma de muestra de DQO.....	66
Apéndice Q. Toma de muestra microbiológica	67
Apéndice R. Determinación del pH para las muestras de agua.	67
Apéndice S. pH metro y clasificación utilizado.....	68
Apéndice T. Etiquetado y preservación de las muestras.....	68
Apéndice U. Recepción de las muestras en el laboratorio.....	69

Resumen

Título: Efecto del cambio de uso del suelo en la calidad del agua en el páramo del Almorzadero*

Autor: Diego Leonardo Rojas Hernández & Karol Yizeth Duarte Manrique**

Palabras claves: Calidad del agua, Parámetros, Usos del suelo.

Descripción:

Los páramos son ecosistemas estratégicos muy relevantes para la provisión y regulación hídrica del planeta, que ha sufrido diferentes transformaciones con el paso del tiempo, provocadas principalmente por la expansión de la frontera agropecuaria. El páramo del Almorzadero ofrece abastecimiento de agua a gran parte del departamento de Santander y, pese a esto, se desconoce información de los efectos que tienen los distintos usos del suelo sobre la calidad de este recurso. En el estudio, se tomaron muestras de aguas de las quebradas El Tatal y Wilches, ubicadas en el páramo del Almorzadero, que atravesaban coberturas con usos del suelo para Pastos, Cultivos y Natural. En total, se escogieron seis puntos de muestreo, distribuidos de a dos por cada uso del suelo (aguas arriba y aguas abajo), con cuatro repeticiones en días aleatorios, una por día. A las aguas muestreadas se les midieron parámetros fisicoquímicos como pH, temperatura, magnesio, calcio, dureza total, alcalinidad total, hierro, nitratos, nitritos, DQO, sulfatos y fosfatos, y parámetros microbiológicos como coliformes totales y *Escherichia coli*. Los resultados obtenidos se sometieron a una ANOVA y se compararon con las normativas nacionales para vertimientos provenientes de la agroindustria y ganadería y de calidad del agua para consumo humano. Los resultados mostraron que la mayor afectación en la calidad del agua se dio por el efecto de los cultivos, seguida de los pastos y por último la cobertura vegetal, sin embargo, se evidenció que los valores para los parámetros evaluados no se modificaron considerablemente por el efecto del uso del suelo. De este modo, los valores de los parámetros fisicoquímicos mostraron que el agua cumple con los requerimientos estipulados para el consumo humano, a diferencia de los microbiológicos en donde se encontró presencia de unidades formadoras de colonias y *E. Coli* en todas las muestras analizadas.

*Trabajo de grado

**Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia IPRED. Programa de ingeniería forestal. Director: Erika Mayerly Celis Celis, Química. Codirectores: Steven Ricardo Mora González, Cand. Master of Science Geographical Information Scienc. Diego Suescún Carvajal, MSc. en Bosques y Conservación Ambiental.

Abstract

Title: Efecto del cambio de uso del suelo en la calidad del agua en el páramo del Almorzadero*

Author: Diego Leonardo Rojas Hernández & Karol Yizeth Duarte Manrique**

Keys Words: Water quality, Parameters, Land uses.

Description:

The páramos are very important strategic ecosystems for the provision and regulation of water on the planet, which has undergone different transformations over time, mainly caused by the expansion of the agricultural frontier. The Almorzadero páramo offers water supply to a large part of the department of Santander and, despite this, information on the effects of different land uses on the quality of this resource is unknown. In the study, water samples were taken from the El Tatal and Wilches streams, located in the Almorzadero páramo, which covered land coverings for pastures, crops and natural. In total, six sampling points were chosen, distributed two by two for each land use (upstream and downstream), with four repetitions on random days, one per day. Sampled waters were measured by physicochemical parameters such as pH, temperature, magnesium, calcium, total hardness, total alkalinity, iron, nitrates, nitrites, COD, sulfates and phosphates, and microbiological parameters such as total coliforms and *Escherichia coli*. The results obtained were submitted to an ANOVA and compared to national regulations for dumping from agribusiness and livestock and water quality for human consumption. The results showed that the greatest impact on water quality was due to the effect of the crops, followed by the pastures and finally the vegetation cover, however, it was evidenced that the values for the evaluated parameters were not significantly modified by the effect of land use. Thus, the values of the physicochemical parameters showed that the water meets the requirements stipulated for human consumption, unlike the microbiological ones where the presence of colony-forming units and *E. Coli* was found in all the samples analyzed.

*Bachelor Thesis.

**Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia IPRED. Programa de ingeniería forestal. Director: Erika Mayerly Celis Celis, Química. Codirectores: Steven Ricardo Mora González, Cand. Master of Science Geographical Information Science. Diego Suescún Carvajal, MSc. en Bosques y Conservación Ambiental.

Introducción

Los páramos son ecosistemas andinos presentes en regiones elevadas situadas por debajo de las nieves perpetuas y encima de los bosques altos andinos, con altitudes desde los 3000 hasta los 4000 msnm; alrededor del 99 % de los páramos del mundo están distribuidos en la cordillera de los Andes, sin embargo, también se localizan en Centroamérica, Asia, África y Oceanía (Rincón, 2015). Estos ecosistemas poseen una alta biodiversidad y ofrecen gran variedad de bienes y servicios ambientales, entre los que se destacan la continua provisión de agua en cantidad y calidad y el almacenamiento de carbono atmosférico que ayuda a controlar el calentamiento global (Monasterio & Sarmiento, 1991; Hofstede *et al.*, 2003).

Colombia posee alrededor del 50% de los páramos del planeta, que, a su vez, corresponden a aproximadamente el 1.4% del territorio nacional; estos ecosistemas se distribuyen a lo largo de las cordilleras Oriental, Central y Occidental, además de la Sierra Nevada de Santa Marta (Min ambiente, 2002). Boyacá, Cundinamarca, Norte de Santander y Santander son los departamentos con mayor representatividad ecosistémica del páramo, conteniendo complejos de páramos como Sumapaz, Santurbán, Sierra Nevada del Cocuy y Almorzadero (IGAC, 2015).

El complejo de páramo Almorzadero se sitúa al oriente de Santander sobre la cordillera Oriental, limita al noroccidente con Santurbán-Berlín, al nororiente con Norte de Santander y al Sur con la Sierra Nevada del Cocuy; por otra parte, presenta una extensión de 262.843,58 hectáreas que se distribuyen en los municipios de San Miguel, San José de Miranda, Molagavita, Málaga, Macaravita, Enciso, Santa Bárbara, San Andrés, Guaca, Concepción, Cerrito y Carcasí y a los cuales presta servicios ecosistémicos como el aprovisionamiento de alimentos, piscicultura, zoocría, recreación, turismo y regulación hídrica (CAS, s.f.).

Pese a la relevancia de los páramos, su dinámica natural se ha visto alterada en distintos periodos debido principalmente al efecto del uso del suelo para actividades productivas como la agricultura, la ganadería y la minería (Baca, 2014). Estas actividades han afectado directamente la formación y reproducción de arbustales y frailejonales, conllevando a la disminución de la calidad del agua y su capacidad de infiltración y almacenamiento en los suelos de los ecosistemas paramunos (Morales & Estévez, 2006). Esta problemática ha afectado también el sostenimiento de nacimientos de ríos y lagunas que desempeñan un rol importante en el ciclo del agua y son responsables del suministro del recurso a acueductos y de múltiples procesos ecológicos, económicos y sociales (Cabrera & Ramírez, 2014).

Ya que el páramo El Almorzadero es un ecosistema estratégico de gran importancia para el bienestar de los municipios en los que se ubica, especialmente por la provisión de agua, se hace necesario desarrollar actividades que ayuden con su regulación y preservación, por lo que el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del cambio del uso del suelo sobre la calidad del agua en este ecosistema.

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Evaluar el efecto del cambio del uso del suelo sobre la calidad del agua en el Páramo del Almorzadero.

1.2. Objetivos específicos

Determinar el efecto del cambio del uso del suelo sobre los parámetros fisicoquímicos de las quebradas Wilches y quebrada El tatal en el Páramo del Almorzadero.

Determinar el efecto del cambio del uso del suelo sobre los parámetros microbiológicos de las quebradas Wilches y quebrada El tatal en el Páramo del Almorzadero.

2. Antecedentes

Aquilla *et al.*, (2006), determinaron la influencia del uso del suelo en la calidad del agua en la subcuenca del Río Jabonal en Costa Rica mediante la evaluación de 13 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de muestras de agua tomadas en nacientes, bosques, potreros o pasturas y establos. Las muestras colectadas en bosques presentaron diferencias significativas en relación con la dureza total y temperatura del agua. Además, observaron diferencias significativas entre las muestras provenientes de nacientes, bosque, potrero y establos para fósforo, pH y coliformes totales. En relación con el DBO el análisis estadístico no mostró diferencias significativas. Los valores de DBO, sólidos suspendidos, fósforo total y coliformes fecales y totales excedieron el nivel crítico para consumo humano.

Robledo *et al.*, (2014), determinaron la calidad del agua del Río Túnico como respuesta al cambio del uso del suelo a través del monitoreo mensual de los parámetros fisicoquímicos del agua de zonas con diferente uso del suelo en la subcuenca, durante un año. Empleando como referencia valores máximos permisibles establecidos por la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Izabal y Río Dulce, predijeron la calidad del agua usando una regresión logística. Igualmente, establecieron modelos mixtos para la predicción de variables fisicoquímicas con 5% de significancia. Independientemente del uso del suelo los datos obtenidos definieron que el estado del N-NO_3^- en el agua drenada se consideró deseable determinándose efecto significativo del uso del suelo sobre el contenido de fósforo total.

Chuez *et al.*, (2016), determinaron la calidad de agua a partir de la evaluación del efecto en el cambio del uso de suelo (pastizal, bosque secundario y cultivos agrícolas), demostrando que el uso

de suelo del bosque posee aguas de calidad excelente, a diferencia del uso de suelo agrícola y pastizal con aguas de calidad regular.

3.Marco referencial

3.1. Marco Teórico

3.1.1. El páramo como ecosistema estratégico proveedor de servicios ecosistémicos. En las partes más altas de las montañas de los Andes, entre el bosque alto andino y las zonas de nieve, se encuentra el ecosistema páramo, el cual abarca aproximadamente un 1,4% de la extensión continental del país. Este ecosistema provee importantes bienes y servicios ambientales a la comunidad, ya que presenta en sus suelos una gran capacidad para almacenar carbono atmosférico y para regular los flujos hídricos superficiales y subterráneos. Igualmente, presenta una gran diversidad biológica y es un centro de endemismos ya que contiene el 8% del total de especies endémicas de la flora colombiana (Mini ambiente, 2002).

El páramo es una de las dos zonas de contraste térmico en el sistema andino de Colombia (Morales & Estévez, 2006). Los límites de los páramos varían según las condiciones propias de cada sitio, tales como, la posición, geología, topografía, evolución del lugar y la altura sobre el nivel del mar (Morales & Estévez, 2006). Por falta de mediciones de campo y estudios detallados, no se ha identificado a fondo las coberturas vegetales que tiene cada fuente hídrica, debido a la variación de la temperatura asociada. La temperatura media anual fluctúa entre 4° y 10°C, mientras que, en el subpáramo se alcanzan temperaturas ente 8° y 10°C y en el superpáramo de 0°C (Aguilar & Rangel, 1996).

Los páramos son ecosistemas presentes en Sur América, Centroamérica, Asia, África y Oceanía, entre altitudes de los 3000 y 4000 msnm. La cordillera de los Andes alberga el 99% de los páramos del mundo (Rincón, 2015). Los ecosistemas de páramo se encuentran naturalmente habitados por especies de musgos, pajonales y frailejones los cuales forma parte importante de la captación y regulación del agua proveniente de la condensación en estas zonas que junto a los arbustos ofrecen mantenimiento, protección y recarga de los acuíferos (Rincón, 2015).

En Colombia, los páramos están localizados en las tres cordilleras y en la Sierra Nevada de Santa Marta, ocupando el 1,4% del área total del país, con alrededor de 34 páramos que suman una superficie de 1'932.395 ha. Según Posada *et al.*, (2008), existe una urgente prioridad de investigación en el páramo, para asegurar el mantenimiento de la integridad del ecosistema. En cuanto a la oferta ambiental, considera que es importante definir la oferta de los ecosistemas en materia de bienes y servicios a la comunidad, y de qué forma estos beneficios pueden mantenerse a lo largo del tiempo. Para ello, recomienda algunas estrategias de estudio, consistentes en fomentar estudios sobre fragmentación de hábitat, sobre integridad de los ecosistemas, el rendimiento hídrico de las cuencas, entre otros.

Según Posada *et al.*, (2008), el páramo ofrece servicios ambientales a la sociedad, debido a la capacidad que tienen de recibir, almacenar y regular el agua, en sus suelos, lagunas y humedales, lo que lo convierte en un regulador hídrico y la captación de carbono debido a la flora asociada. Debido a que esto está directamente relacionado con el recurso hídrico y a que adicionalmente, se pueden ver afectados otros procesos estructurales de los páramos, lo que se traduce finalmente, en efectos directos de lo que hoy conocemos como Servicios Ecosistémicos.

Por lo tanto, dichos servicios se entienden como los beneficios que los seres humanos obtienen de los ecosistemas, y son el resultado de procesos o funciones de los ecosistemas que nos proveen

valores y beneficios (Posada *et al.*, 2008), este concepto es tomado del documento de trabajo internacional titulado La Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA, por sus siglas en inglés), diseñado como herramienta para los tomadores de decisiones y el público general, con información científica sobre las consecuencias de los cambios en los ecosistemas sobre el bienestar humano y las opciones de respuesta frente a dichos cambios (MEA, 2005).

Por definición de la MEA (2005), el documento hace importantes contribuciones alrededor del cambio de paradigma cómo se debe apreciar y valorar los ecosistemas, entre otras, una de las principales contribuciones fue hacer evidente la relación entre bienestar humano, y los ecosistemas, clasificando los servicios ecosistémicos en cuatro grupos:

1. Soporte (producción primaria, ciclos de nutrientes, pesquerías)
2. Regulación (regulación de clima, de avalanchas)
3. Aprovisionamiento (alimento, fibras, maderas)
4. Culturales (beneficios no materiales, valor estético, entre otros.)

3.1.2. Caracterización de la flora asociada a los páramos. La caracterización florística se da como una definición de unidades en la vegetación o patrones de comunidades vegetales reales, dependiendo de las especies por sus características exclusivas o diferenciales indicadoras según sus condiciones ecológicas (Rangel & Velásquez, 1997a). Las descripciones florísticas tabuladas correctamente en forma ordenada y simplificada dan datos puntuales los cuales hacen que el análisis de la información sea puntual (Cantillo *et al.*, 2004).

Diversos tipos de estudios florísticos dan a conocer que la vegetación dominante en el páramo abierto son varias especies de pastos o "pajas" en especial los géneros *Calamagrostis*, *Agrostis* y *Festuca* y las plantas arrosetadas, entre las que sobresalen diversas especies de frailejones de los

géneros *Espeletia*, *Espeletiopsis*, *Libanothamnus* y *Paramiflos*. Estas especies se encuentran catalogadas como endémicas de los Andes de Venezuela, Colombia y Ecuador. En las altas montañas tropicales y subtropicales del Viejo Mundo tienen su equivalente en otras *Asteráceas* (*Espeletiinae*) de porte muy similar, como las *Dendrosenecio* de África y *Argyroxiphium* de Hawaii (Herrera, s.f).

Por otro lado, Herrera, (s.f) cuenta que las plantas arrosetadas comunes en el páramo son los carditos (*Paepalanthus*), cardos (*Puya*), y algunos helechos del género *Blechnum*. En conjunto con los pastizales crece una gran cantidad de hierbas, muchas de ellas endémicas como las árnicas y otras *Asteráceas*, los apios de monte (*Apiaceae*), teresitas, las gencianas, y cachitos (*Gentianaceae*), los chochos (*Lupinus*), los geranios silvestres (*Geranium*), las orquídeas (*Orchidaceae*), las plegaderas (*Lachemilla*) y las valerianas (*Valeriana*), entre muchas otras presentes en el páramo.

Diversas especies de arbolitos y arbustos son comunes en partes del páramo dependiendo de la altura a la que estén ubicados, dispersos por el terreno o formando matorrales y bosques de porte bajo en sitios protegidos o cañadas. En el límite inferior del páramo (subpáramo), las plantas leñosas forman matorrales donde este hace contacto con el bosque andino. La antigua dominancia de arbustos y bosques enanos ya no es evidente en muchos páramos, debido a que ha sido destruido por la ganadería y agricultura (Herrera, s.f).

Entre los arbolitos y arbustos más típicos del páramo Herrera, (s.f), investiga que se cuentan varias especies de *Asteraceae*, conocidas como chilcos, romeros de páramo, y amargueros (*Monticalia*, *Diplostephium*, *Ageratina*, *Baccharis*, *Gynoxys*, etc), los uvos de monte, pegamoscos y mortiños venenosos de la familia *Ericaceae* (*Cavendishia*, *Macleania*, *Bejaria*, *Gaultheria*, *Disterigma*, *Pernettya*, *Vaccinium*, etc.) y los

tunos, charnes y sietecueros de la familia *Melastomataceae* (*Miconia*, *Bucquetia*, *Brachyotum*, *Monochaetum*, *Tibouchina*, etc.), además de variación de encenillos (*Weinmannia*) y chites (*Hypericum*). En sitios con mayor grado de humedad o pantanosos el chusque *Chusquea tessellata* forma matorrales densos. Sobresalen, además, dos tipos de árboles, los coloraditos (*Polylepis*) y el rodamonte (*Escallonia myrtilloides*), que antiguamente formaban bosques enanos a alturas sorprendentes (llegando a 4400 msnm), actualmente estos bosques han sido destruidos (Herrera, s.f).

La evolución de las especies vegetales del páramo presenta una serie de formas importantes de adaptación para su supervivencia en condiciones climatológicas como las que se presentan en la zona andina (Herrera, s.f).

Según Herrera, (s.f), en las especies vegetales de páramo las adaptaciones más comunes son:

Formación de rosetas: en la mayor parte de plantas de páramo, sus hojas tienden a reunirse en la parte superior del tallo, lo cual forma una roseta, usada como defensa por las yemas contra el frío y el viento (Herrera, s.f).

Granificación de arbustillos y arbustos: se da en la mayoría de las plantas leñosas del páramo, sus tallos y gramas crecen y se prolongan hasta el suelo, para así tener una acumulación de hojas caídas las cuales, protejan las yemas y amortigüe el cambio brusco y constante de las temperaturas sobre la superficie del suelo (Herrera, s.f).

El engrosamiento de las hojas: usada para almacenar agua y en algunos casos impedir la deshidratación. Un desarrollo de reducción para la pérdida de agua por transpiración que sea mínimo, un ejemplo de algunas de estas adaptaciones es: romero (hoja recurvada), chite (hoja acicular) y cardón, (hoja espinosa) (Herrera, s.f).

Los páramos colombianos se han catalogado como el reino de los líquenes y los briófitos (musgos y sus parientes, las hepáticas). La dominancia se manifiesta por: las ramas de los arbolitos y de arbustos normalmente están cubiertas por barbas colgantes de musgos, líquenes y hepáticas y de los musgos que se desprenden diariamente se forman espesos colchones de musgos en el suelo, los grandes almacenadores de agua del páramo, uno de los géneros de musgo que forman turberas en sitios pantanosos es el *Sphagnum* (Herrera, s.f).

3.1.3. Calidad del agua (parámetros fisicoquímicos y microbiológicos) y su afectación por cambio de uso del suelo. El agua es un recurso vital de los seres vivos, actuando como elemento fundamental en procesos físicos, químicos y biológicos que permiten la vida en el planeta. El recurso hídrico ha sufrido importantes alteraciones desde la revolución industrial, debida a múltiples factores que contribuyen a su contaminación química, física y biológica. Lo anterior está generando la alteración del paisaje, incremento de sedimentos en los sistemas hídricos, deforestación de bosques asociados a cuerpos de agua y pérdida de resiliencia de cuencas hidrográficas (Durán & Gualdrón, 2016).

A pesar de que Colombia posee un potencial hídrico tres veces mayor al promedio de los países suramericanos y seis veces mayor que la oferta hídrica específica promedio mundial, presenta serios problemas en la disponibilidad de agua de calidad en muchas regiones. Esto se debe principalmente, a la contaminación, deforestación, erosión, pérdida de capacidad de retención y regulación del recurso hídrico y la alteración drástica la biodiversidad y los ecosistemas que regulan directa e indirectamente la oferta hídrica (Durán & Gualdrón, 2016).

Diversos estudios como los realizados por el ENA, (2014), señalan que aquellas zonas del territorio nacional sometidas a mayores presiones antrópicas presentan cambios importantes en la

cobertura vegetal, en el uso y manejo del suelo, viéndose alterados elementos particulares del perfil de los ríos (longitud desde el nacimiento hasta desembocadura), ocasionando drásticas alteraciones en la parte media y baja de las cuencas hidrográficas, en relación con las cabeceras de estas.

3.1.3.1. Parámetros fisicoquímicos. Según Durán & Gualdrón, (2016), en el agua se identifican variables fisicoquímicas como: temperatura, demanda química de oxígeno (DQO), presencia de sulfatos, nitratos, fosfatos, pH dureza total, calcio, magnesio, alcalinidad total y hierro. Para los ecosistemas acuáticos estas variables son de gran importancia, debido a que son indicativos de la dinámica y composición de los agentes contaminantes, los cuales contribuyen en la evaluación de la calidad de agua de los cuerpos loticos.

El pH: representa el grado de acidez, basicidad y alcalinidad en los cuerpos de agua. Con este parámetro varía la composición en la flora y la fauna, además influye en la toxicidad de ciertos compuestos como metales pesados, hidrógeno sulfurado, el amoníaco, entre otros (Durán & Gualdrón, 2016).

Dureza total: se basa en la cantidad de iones de calcio y magnesio presente en el cuerpo de agua, que son evaluados como carbonato de calcio y magnesio. Cuando las aguas son poco productivas a nivel biológico se les denomina aguas de baja dureza; por el contrario, cuando presentan dureza elevada son muy productivas, aunque pocas especies se han adaptado a este tipo de aguas, por otro lado, las aguas con durezas intermedias pueden tener aumento en la fauna y flora, pero al mismo tiempo son menos productivas en términos de biomasa (Roldán, 2003).

Calcio: la concentración de este elemento es mayor con respecto al magnesio, aunque hay algunas excepciones. Zamora & Badilla (2009) argumenta que la presencia de calcio en el agua se debe a la disolución simple de los yesos o silicatos por la acción del anhídrido carbónico.

Magnesio: Se encuentra en cantidades mucho menores que el calcio, pero es grande su importancia biológica, ya que es indispensable en el desarrollo de ciertos sistemas enzimáticos, actuando igualmente en la constitución de los huesos. Según Zamora & Badilla, (2009), si la cantidad de magnesio es muy grande en el agua, esta actúa como laxante e incluso su sabor puede llegar a ser amargo.

Alcalinidad: según Romero Rojas, (1996), la alcalinidad es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento y control de la corrosión. Este parámetro es el encargado de proporcionar la acción buffer o amortiguadora al agua. Es fundamental conocer la alcalinidad de un cuerpo de agua para determinar su capacidad para mantener los procesos biológicos y una productividad sostenida y duradera (Roldán, 2003).

Hierro: la principal fuente de este elemento en el agua proviene de la oxidación de minerales. Su concentración afecta a la potabilidad de las aguas y es un inconveniente en los procesos industriales por provocar incrustaciones; además, la estabilidad y aparición en una forma u otra depende del pH, condiciones oxidantes o reductoras, composición de la solución (Roldán, 2003).

Sulfatos: es la principal fuente de oxígeno para las bacterias en condiciones anaeróbicas, lo cual conlleva a su conversión en sulfuro de hidrógeno. La presencia de sulfatos en el agua se debe a la oxidación de minerales que tienen sulfato, la presencia de esquistos y residuos industriales; las altas concentraciones de sulfatos pueden tener efecto laxante en combinación con calcio y magnesio. (CORTOLIMA, 2007).

Nitrato: este parámetro indica la descomposición de materia orgánica animal y/o vegetal, generando. La presencia de este elemento junto con fosfatos en las aguas superficiales hace que las algas tengan un excesivo crecimiento comúnmente conocido como la eutrofización.

Normalmente las aguas con filtraciones por sistemas de riego que habitualmente contienen fertilizantes conforman varios centenares de ppm (Durán & Gualdrón, 2016).

Nitritos: Es el principal parámetro que sufre oxidación con facilidad por procesos químicos o biológicos que lo convierten a nitrato, también puede ser reducido a compuestos como el amonio (Ántón & Lizaso, 2001).

Fosfatos: este parámetro es fundamental al contribuir en procesos de eutrofización en los cuerpos de agua. Además, indica la cantidad de detergentes sintéticos vertidos a una corriente, ya que estos poseen entre 12 y 13% de fósforo en sus formulaciones. Forman sales muy poco solubles que fácilmente precipitan como fosfato cálcico. En el agua no se suele encontrar más de 1 ppm, a menos que la contaminación sea por fertilizantes (Durán & Gualdrón, 2016).

Demanda química de oxígeno (DQO): mide la capacidad de consumo de ciertos oxidantes químicos como el permanganato y el dicromato por el total de materias oxidables inorgánicas y orgánicas. Básicamente este parámetro indica la cantidad de contaminantes orgánicos presentes en el agua. El DQO es más rápido que el DBO debido a que es de medición casi inmediata, su unidad de medida se da en ppm de O₂. Normalmente las aguas no contaminadas tienen valores de DQO de 1 a 5 ppm (Durán & Gualdrón, 2016).

3.1.3.2. Parámetros microbiológicos. Según Durán & Gualdrón, (2016), las aguas crudas pueden tener gran variedad de microorganismos entre patógenos y no patógenos. Se entienden por no patógenos aquellos microorganismos que no generan efectos a la salud humana o animal, contrario a los patógenos, que tienen la capacidad de causar enfermedades a los seres vivos debido a que se encuentran microorganismos en el agua y tienen potencial patógeno más importante entre ellos algunos protozoos, bacterias, virus, algas y los hongos.

Los coliformes totales: es utilizado para identificar los cambios en la localidad biológica del agua. Indica la contaminación del agua con materia orgánica de origen fecal (animal o humana), que, además, puede afectar así la productividad primaria acelerada de los cuerpos loticos (Durán & Gualdrón, 2016).

Los coliformes fecales: está compuesto por un grupo de bacterias de las familias enterobacterias que han sido utilizadas como indicador idóneo para el agua potable. Según Durán & Gualdrón (2016), en este grupo se destacan las bacterias aeróbicas y anaeróbicas facultativas siendo *Escherichia coli* la bacteria más distinguida por su facilidad de crecer a elevadas temperaturas y por la capacidad de producir la enzima glucoronidasa.

3.1.4. Efectos de la eutrofización como consecuencia del cambio en el uso del suelo. Según SMA (2016), la eutrofización aparece cuando existe una alta concentración de nutrientes (fosfatos y nitratos) en aguas de distinta procedencia, particularmente la que tiene contacto con vertimientos relacionados al uso urbano o agrícola. Dicha actividad humana produce la denominada eutrofización antropogénica, lo cual conlleva a una disminución de la calidad y potabilidad de dicha agua dando como consecuencia un peligro para la salud humana, además, de generar un cambio en las condiciones ambientales del entorno y modificando el ecosistema tanto de los seres vivos acuáticos y de los organismos aerobios presentes, dando como resultado su muerte.

El uso excesivo de fertilizantes en los suelos agrícolas o las partículas de la materia orgánica de vertidos en el agua da como resultado un exceso de nutrientes que llegan disueltas a las aguas y debido a esto las plantas lo toman y determinados organismos simples que, al morir, son descompuestos por los microorganismos, es por ello que presenta un alto consumo del oxígeno

disuelto, lo cual impide la vida de otros seres vivos y genera olores desagradables en el agua que se torna inservible (SMA, 2016).

3.1.5. Normas para la calidad del agua

3.1.5.1. Resolución 0631 de 17 de marzo de 2015: Norma para vertimientos de agroindustria y ganadería a cuerpos de aguas superficiales. Capítulo VI. Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles para vertimientos en aguas superficiales no domésticas. Esta resolución está basada en establecer los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes realicen vertimientos provenientes de la ganadería y agroindustria a los cuerpos de agua superficiales (MADS, 2015) (tabla 1).

Tabla 1.

Valores límites máximos permisibles en los vertimientos de aguas provenientes de la ganadería y la agroindustria a cuerpos de aguas superficiales.

Parámetro	Unidades	Agroindustria	Ganadería
pH	Unidades de pH	6 a 9	6 a 9
Dureza Total	(mg/L CaCO ₃)	No aplica	Análisis y Reporte
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	150	500
Alcalinidad Total	(mg/L CaCO ₃)	No aplica	Análisis y Reporte
Nitratos	mg/L (N-NO ₃)	No aplica	Análisis y Reporte

Nota: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 0631 de 17 de marzo de 2015. Adaptado de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Norma para vertimientos de agroindustria y ganadería a cuerpos de aguas superficiales. Capítulo VI. Recuperado de https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf

3.1.5.2. Resolución 2115 del 22 de junio 2007: Norma para calidad del agua para consumo humano. Capítulo II y III. 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 (MADS, 2007) (Tabla 2).

Tabla 2.

Valores máximos permisibles para parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua para el consumo humano.

Parámetro	Unidades	Valor máximo permisible
pH	Unidades de pH	6,5 a 9
Dureza total	(mg/L CaCO ₃)	300
Sulfatos	(mg/L SO ₄)	250
Hierro	(mg/L Fe)	0,3
Fosfatos	(mg/L PO ₄)	0,5
Alcalinidad total	(mg/L CaCO ₃)	200
Calcio	(mg/L Ca)	60
Magnesio	(mg/L Mg)	36
Coliformes totales	(UFC/100 mL)	0
<i>Escherichia coli</i>	(UFC/100 mL)	0
Nitratos	mg/L (N-NO ₃)	10
Nitritos	mg/L (N-NO ₂)	0,1

Nota: Ministerio De La Protección Social Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial. Resolución 2115 del 22 de junio 2007. Adaptado de Ministerio De La Protección Social Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial. (2015). Norma para calidad del agua para consumo humano. Capítulo II y III. Recuperado de https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_2115_de_2007.pdf

3.1.6. Decreto 2245 del 29 de diciembre de 2017: norma basada en el acotamiento de rondas hídricas para la preservación del cauce. Decreto basado en el replanteamiento del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente Decreto 2811 de 1974, estableciendo regulación en términos de propiedad con relación a las zonas paralelas a los cauces permanentes. Basado en el Artículo 83, literal D, estipulando la faja paralela a las líneas de mareas máximas o al cauce permanente de ríos y lagos de hasta 30 metros ya que es un

bien de conservación para el Estado, excepto si existen derechos adquiridos o algún permiso especial que atribuya trabajos o construcciones inferiores al límite (Cundinamarca-CAR, s.f).

3.2. Marco Conceptual

Abiótico: que no forma parte de los seres vivos. Es resultado de las interacciones entre lo físico y lo químico. Por ejemplo: sol, aire, agua, rocas, clima, relieve, luz.

Adaptación: es una característica de las especies vivas, que se va instalando de generación en generación durante larguísimos periodos de tiempo, de forma gradual.

Afluente: corresponde a un curso de agua, también llamado tributario, que no desemboca en el mar sino en otro río más grande, con el cual se une en un lugar llamado confluencia.

Agricultura: es un conjunto de conocimientos y actividades desarrolladas por el ser humano para cultivar la tierra. Incluye técnicas de manejo del suelo, no siempre apropiadas, que buscan hacerlo más apto para el crecimiento de los cultivos.

Altitud: es la distancia vertical con respecto al nivel del mar (nivel 0). Se mide en metros sobre el nivel del mar y se abrevia msnm.

Análisis fisicoquímico del agua: Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.

Análisis microbiológico del agua: Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.

Ambiente: engloba tanto las propiedades físicas o elementos abióticos, como el clima y la geología, además de los organismos vivos que comparten un hábitat, es decir, los elementos bióticos.

Balance hídrico: es la relación entre los valores de precipitación y evapotranspiración de un área determinada. Resulta del equilibrio entre la cantidad de agua que entra al ecosistema, la cantidad que sale y la cantidad de agua que queda.

Biodiversidad: es la variedad de seres vivos que habita la Tierra, la variedad de genes que los componen y la variedad de ecosistemas en los que se desarrollan.

Calidad del agua: Conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua.

Contaminación del agua: Alteración de sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, como resultado de las actividades humanas o procesos naturales, que producen o pueden producir rechazo, enfermedad o muerte al consumidor.

Punto de muestreo: Sitio específico destinado para tomar una muestra representativa de la calidad de agua en la red de distribución.

Red de distribución: Conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta los puntos de consumo.

Cobertura: cobertura de la tierra, es la cobertura (bio) física que se observa sobre la superficie de la tierra, en un término amplio no solamente describe la vegetación y los elementos antrópicos existentes sobre la tierra, sino que también describen otras superficies terrestres como afloramientos rocosos y cuerpos de agua.

Uso del suelo: implica la utilidad que presta un tipo de cobertura al ser humano, el uso se relaciona con las actividades humanas o las funciones económicas de una porción específica de la tierra.

Agua cruda: es aquella que no ha sido sometida a proceso de tratamiento, generalmente se encuentra en fuentes y reservas naturales de aguas superficiales y subterráneas.

Aguas residuales o servidas: son el resultado del uso doméstico ó industrial del agua, son llamadas también negras o cloacales. El agua usada constituye un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; son negras por el color que habitualmente adquieren.

Agua potable: al agua que podemos consumir o beber sin que exista peligro para nuestra salud. El agua potable no debe contener sustancias o microorganismos que puedan provocar enfermedades o perjudicar nuestra salud.

4. Metodología

4.1. Área de estudio

El estudio se realizó en los predios asociados a la tercera fase del proyecto “Reconversión del sistema ganadero ovino extensivo a un sistema de semi-estabulación como alternativa para la reducción y mitigación del conflicto entre el hombre y el Cóndor de los Andes” liderado por el SENA y el Parque Jaime Duque, ubicados en los sectores del Mortiño vereda Boyaga pertenecientes al páramo Almorzadero del municipio del Cerrito-Santander (Figura 1).

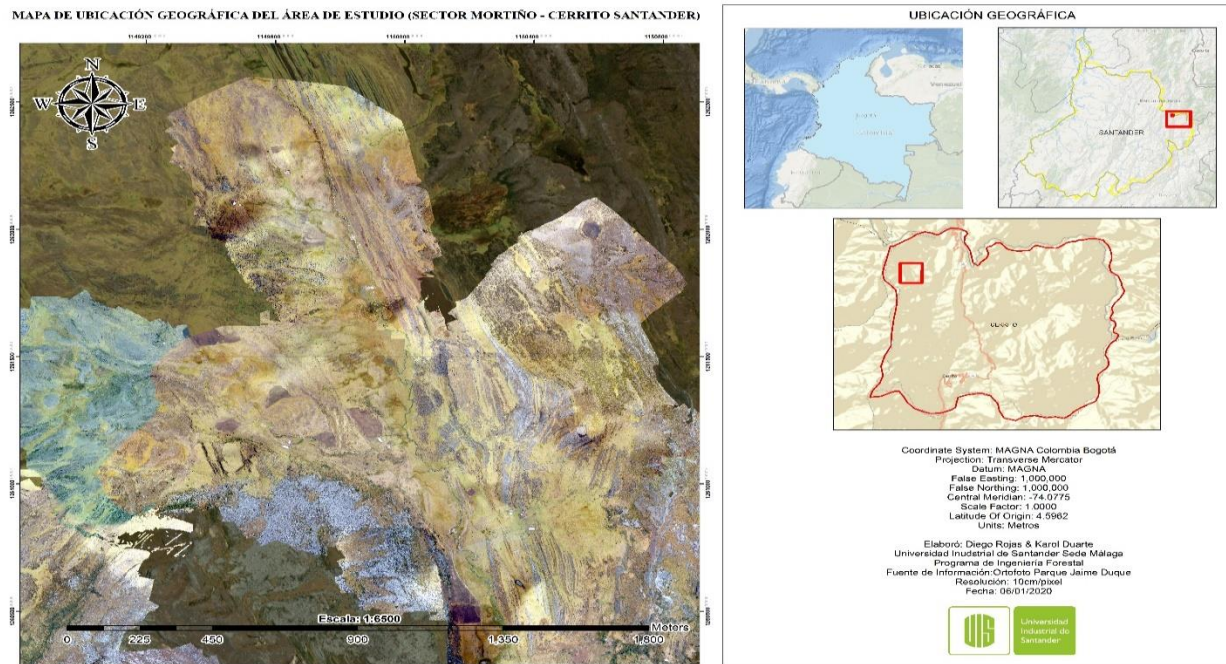


Figura 1. Mapa localización del proyecto.

4.2. Selección de fuentes hídricas

Se realizó la identificación y georreferenciación de posibles lugares presentes en la zona de estudio que cumplieran con el uso del suelo de acuerdo a los seleccionados, con el objetivo de definir los puntos de toma de la muestra.

Los parámetros que se tuvieron en cuenta para escoger las fuentes hídricas fueron:

Presencia de las coberturas contempladas en el estudio a los costados de los causes.

Caudal continuo en diferentes épocas del año.

Fácil acceso.

Con base en los aspectos mencionados se seleccionaron la quebrada el Tatal, que abarcó la cobertura natural, y la quebrada Wilches, que abarcó el uso del suelo como cultivo y pastizal. Por

cada uso del suelo distinto se ubicaron dos puntuales de muestreo: aguas arriba y aguas abajo (Figura 2).

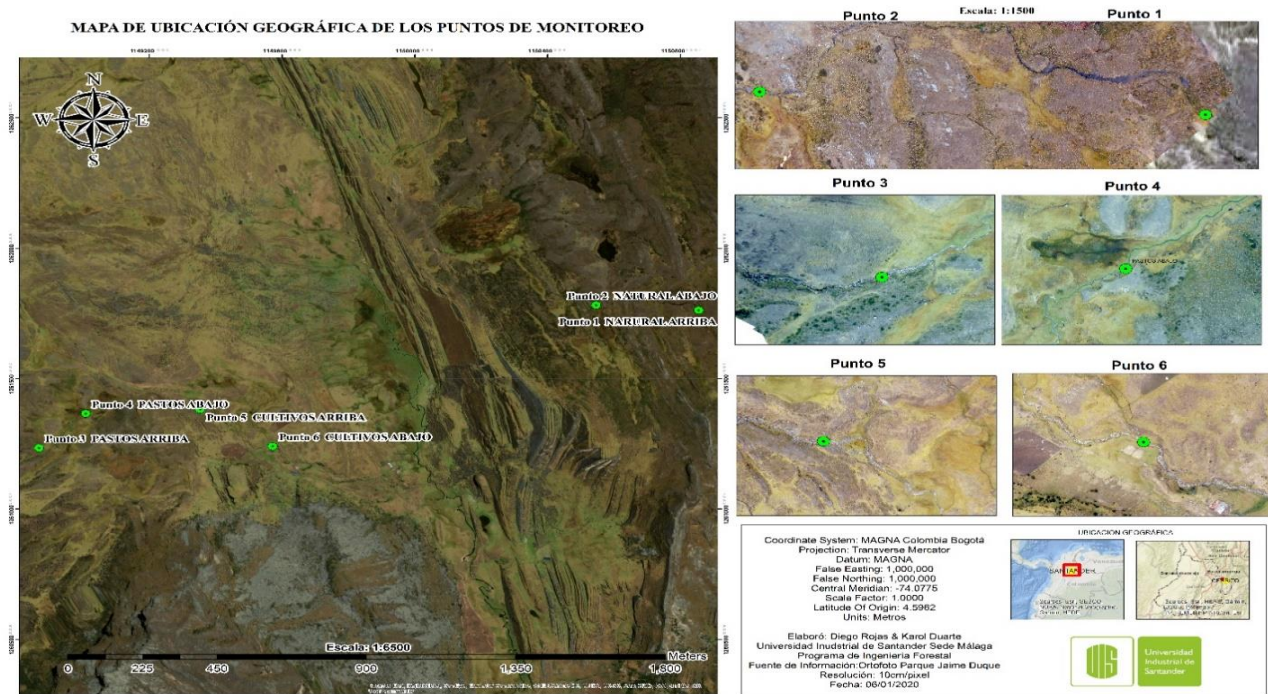


Figura 2. Mapa de localización espacial de los puntos de muestreo

Los puntos definidos se denominaron de la siguiente manera:

Punto 1: Natural arriba

Punto 2: Natural abajo

Punto 3: Pastos arriba

Punto 4: Pastos abajo

Punto 5: Cultivos arriba

Punto 6: Cultivos abajo

4.2. Clasificación de la cobertura con base en el uso del suelo

Previo a la selección de los sitios de muestreo se realizó la clasificación de la cobertura con base en los distintos usos que se le da al suelo del páramo Almorzadero. Para lo anterior, utilizaron fotografías con Drone proporcionadas por el parque Jaime duque, que se procesaron utilizando el programa ArcGIS 10.6 de ESRI, a través de la metodología de la precisión de Clasificaciones de la Cubierta Terrestre mencionada support vector machine, que consiste en evaluar la precisión de la clasificación de una imagen a partir de la comparación de la clasificación de una imagen con datos de referencia obtenidos mediante interpretación de fotos aéreas de alta resolución a partir del método de Muestreo Aleatorio Estratificado.

La clasificación se realizó a 30 metros a lado y lado del cauce de las quebradas estudiadas para evidenciar que la presencia de uso del suelo en los lugares estudiados, lo cual se referencia según el decreto 2245 del 2017 para el acotamiento de las rondas hídricas en faja paralela a los cuerpos de agua a 30 m de su cauce (Figura 3, 4,5).

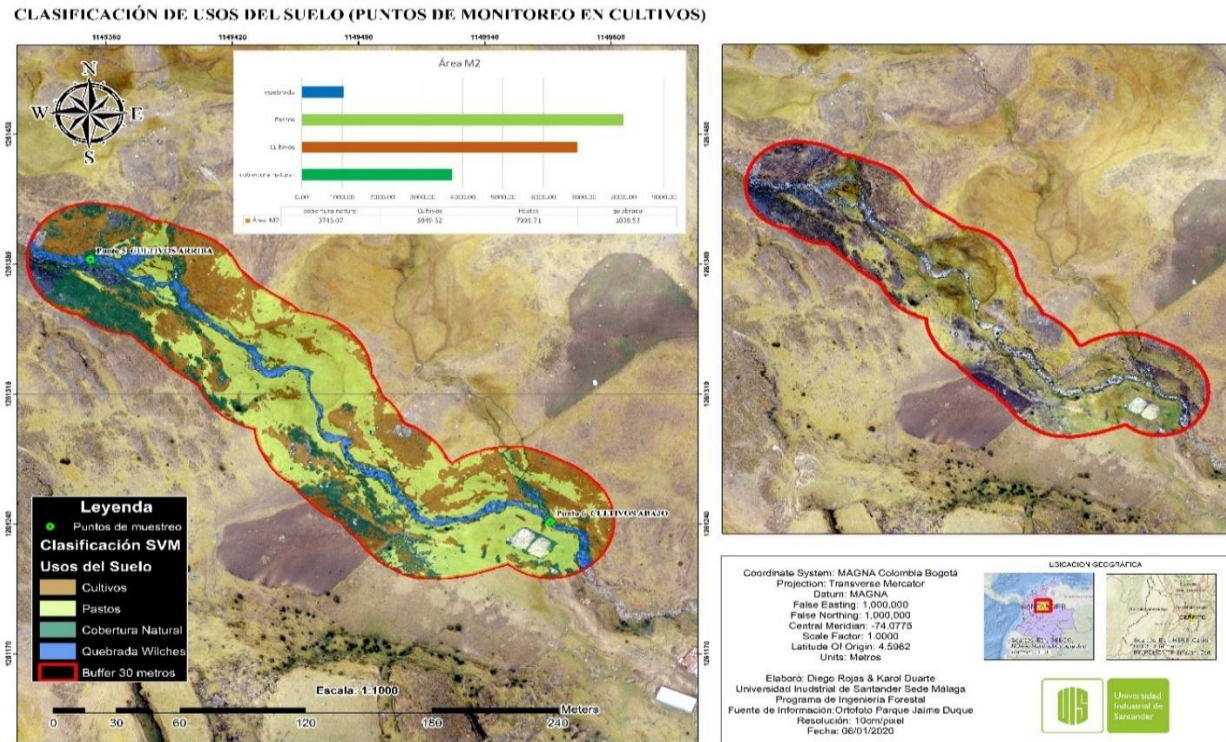


Figura 3. Mapa de la clasificación del uso del suelo para cultivo

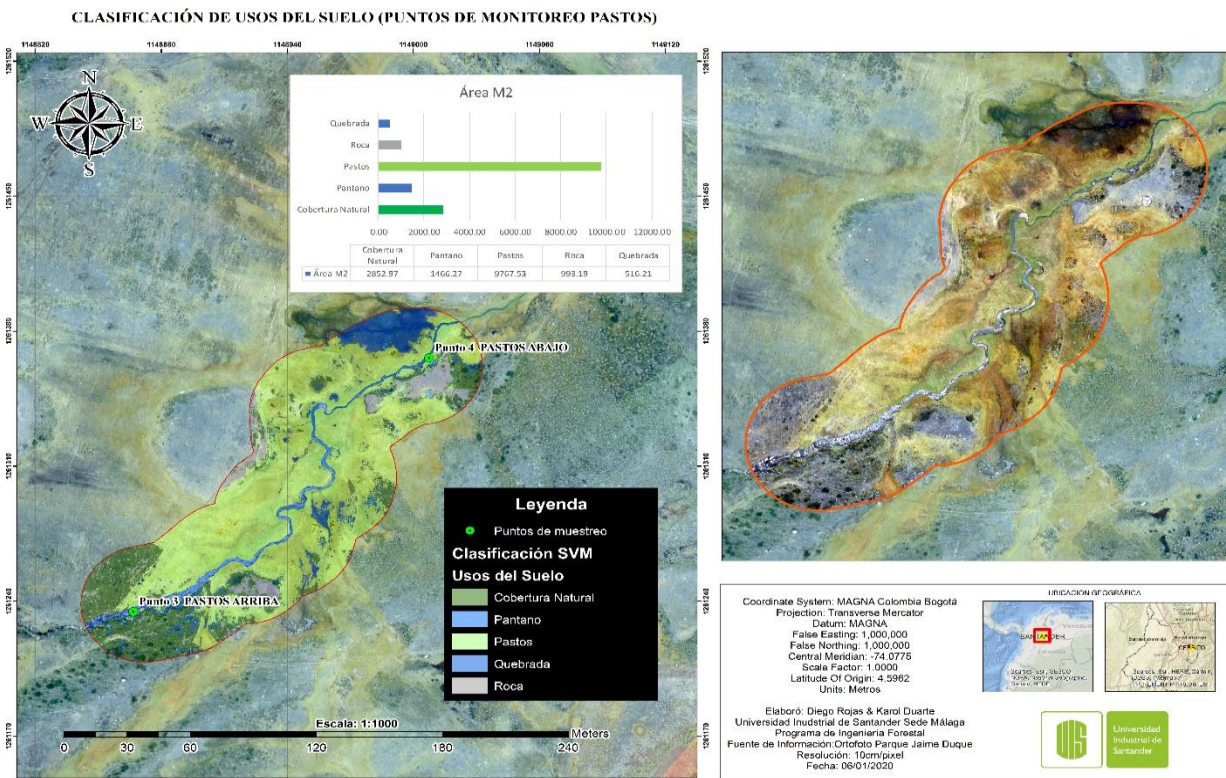


Figura 4. Clasificación de usos del suelo (Puntos de monitoreo en pastos)

CLASIFICACIÓN DE USOS DEL SUELO (PUNTOS DE MONITOREO COBERTURA NATURAL)

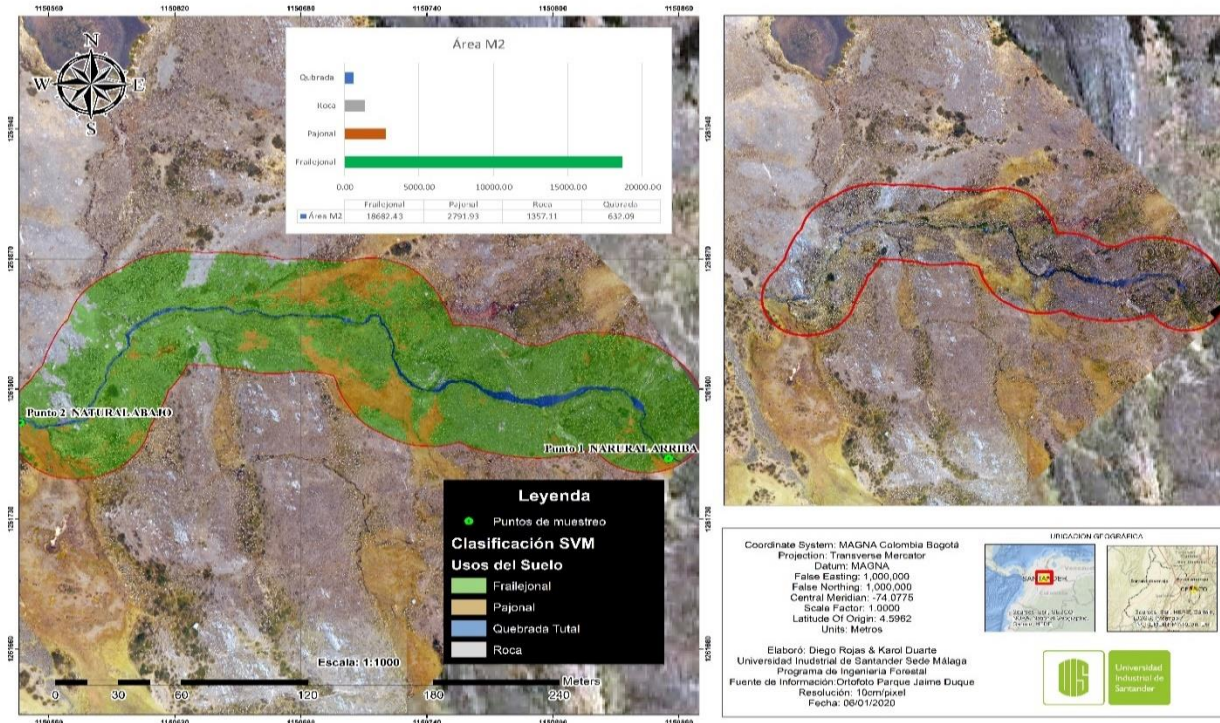


Figura 5. Clasificación de usos del suelo (Puntos de monitoreo en natural)

4.3. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y toma de muestras de agua

Los parámetros determinados para todas las muestras de agua fueron los siguientes:

Parámetros fisicoquímicos: pH, temperatura, dureza total, calcio, magnesio, alcalinidad total, hierro, nitratos, nitritos, sulfatos, DQO y fosfatos.

Parámetros microbiológicos: Coliformes totales y *Escherichia coli*.

El muestreo se realizó en dos puntos fijos por cada una de las coberturas: aguas a la entrada (arriba) y aguas a la salida (abajo), cuya recolección se hizo al mismo tiempo. Cada muestra se tomó a diferentes horas del día (9:00 am, 11:00 am, 1:00 pm) con el objetivo de recolectar una muestra compuesta. Para los análisis fisicoquímicos el volumen final fue de aproximadamente 1000 mL, para el análisis de DQO de aproximadamente 220 mL y para los análisis microbiológicos

de aproximadamente de 50 ml. El proceso anterior se repitió para cada punto de muestreo durante 4 días aleatorios.

4.3.1. Criterios de envasado de las muestras. El envasado de las muestras y su preservación dependieron del parámetro a analizar. Para el análisis de los parámetros fisicoquímicos se emplearon recipientes de plástico de un litro, previamente lavados, que se llenaron a rebosar; para el análisis de DQO se utilizaron recipientes esterilizados de vidrio de aproximadamente 50 mL; las muestras para pruebas microbiológicas se tomaron en bolsas plásticas de aproximadamente 250 mL, dejando un espacio del 10% del volumen de la bolsa sin llenar.

4.3.2. Preservación de muestras. Las muestras se preservaron a una temperatura entre 2°C y 6°C y se transportaron en una cava de icopor al laboratorio de análisis en menos de 24 horas, luego del muestreo. A las muestras para DQO se les adicionó ácido sulfúrico diluido, hasta obtener pH 2, según lo recomendado por la norma NTC ISO/IEC 17025; 2017 (análisis de aguas naturales).

4.3.3. Análisis de muestras. El análisis de las muestras se realizó en el laboratorio de aguas del SENA en Vélez, autorizado por el Ministerio de Salud y Protección Social, según Resolución 2625 de 2019, para realizar análisis físicos, químicos y microbiológicos al agua natural para consumo humano. Los parámetros de dureza total, calcio, magnesio, alcalinidad total, nitritos, sulfatos y fosfatos se midieron con base en los requisitos de ensayo del NTC ISO/IEC 17025:2017. Los parámetros pH y temperatura del agua se midieron *in situ*.

4.4. Diseño experimental

Se realizó un diseño completamente al azar con 6 usos diferentes del suelo (pastizal, cultivos y natural, cada uno aguas arriba y aguas abajo) y con cuatro repeticiones, una por día.

4.4.1. Análisis estadístico. Los resultados de los parámetros analizados fueron sometidos a una ANDEVA de acuerdo con el diseño experimental empleado (Steel y Torrie, 1992). Cuando se presentaron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) se utilizó el test de rangos múltiples de Duncan para la separación de medias (Steel y Torrie, 1992). Lo anterior se hizo empleando el paquete estadístico SAS.

5. Resultados y discusión

5.1. Parámetro fisicoquímico

5.1.1. Temperatura. Los valores de temperatura no presentaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) en ninguno de los usos del suelo comparados. Aunque la temperatura es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, debido a que se puede correlacionar con la actividad microbiológica u otras reacciones que suceden en las fuentes hídricas, las actividades desarrolladas en los lugares muestreados no conllevan a un incremento apreciable en la misma (Tabla 3).

Tabla 3.

Resultados de Temperatura para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos.

Parámetro	Uso del suelo						CV
Temperatura (°C)	Pastos Arriba	Pastos Abajo	Cultivos Arriba	Cultivos Abajo	Natural Arriba	Natural Abajo	
Media	8,92	9,5	9,58	10,42	9,17	9,17	18,23
NVACAS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
NVGCAS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
NCACH	NA	NA	NA	NA	NA	NA	

CV: coeficiente de variación. Medias en filas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan. NVACAS: norma para vertimientos de agroindustria a cuerpos de aguas superficiales NVGCAS: norma para vertimientos de ganadería a cuerpos de aguas superficiales NCACH: norma para calidad del agua para consumo humano C: cumple NC: no cumple NA: no aplica ND: no definido.

5.1.2. Magnesio. Los valores de magnesio presentaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre las aguas de la Cobertura natural arriba y abajo con respecto a las de Pastos arriba, señalando un efecto del empleo de suelo para pasturas en la concentración de magnesio. Los valores más altos se obtuvieron para la cobertura natural y los menores para Pastizal, posiblemente por una mayor absorción de nutrientes en los pastos, que deja el suelo con menos disponibilidad de los elementos que se puedan infiltrar o lixiviar (Tabla 4).

Tabla 4.

Resultados de Magnesio para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos

Parámetro	Uso del suelo						CV
Magnesio (mg/L Mg)	Pastos Arriba	Pastos Abajo	Cultivos Arriba	Cultivos Abajo	Natural Arriba	Natural Abajo	
Media	1,78 ^b	3,01 ^{ba}	4,30 ^{ba}	4,17 ^{ba}	5,24 ^a	4,78 ^a	45,41
NVACAS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
NVGCAS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
NCACH	C	C	C	C	C	C	

CV: coeficiente de variación. Medias en filas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan. NVACAS: norma para vertimientos de agroindustria a cuerpos de aguas superficiales NVGCAS: norma para vertimientos de ganadería a cuerpos de aguas superficiales NCACH: norma para calidad del agua para consumo humano C: cumple NC: no cumple NA: no aplica ND: no definido.

Los valores encontrados en el estudio mostraron que las concentraciones de magnesio presentes en el agua están dentro de los permitidos en la norma de calidad de agua para consumo humano.

5.1.3. Calcio. Los resultados para calcio presentaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) en cultivos (arriba y abajo), con respecto a Pastos (arriba y abajo) y Natural (arriba y abajo). Los valores más altos se encontraron para Cultivos arriba y abajo, en comparación la cobertura Natural y con Pastos, lo que muestra que el empleo de fertilizantes con alto contenido de calcio, como la gallinaza que usualmente se emplea por los campesinos de la región, puede ser una causa del aumento de la concentración de calcio, al lixivarse o infiltrarse por causa de la lluvia o del riego sobre fuentes hídricas (Tabla 5).

Tabla 5.

Resultados de Calcio para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos.

Parámetro	Uso del suelo						CV
Calcio (mg/L Ca)	Pastos Arriba	Pastos Abajo	Cultivos Arriba	Cultivos Abajo	Natural Arriba	Natural Abajo	
Media	27,07 ^b	24,38 ^b	40,3 ^a	40,20 ^a	28,28 ^b	24,78 ^b	11,92
NVACAS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
NVGCAS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
NCACH	C	C	C	C	C	C	

CV: coeficiente de variación. Medias en filas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan. NVACAS: norma para vertimientos de agroindustria a cuerpos de aguas superficiales NVGCAS: norma para vertimientos de ganadería a cuerpos de aguas superficiales NCACH: norma para calidad del agua para consumo humano C: cumple NC: no cumple NA: no aplica ND: no definido.

Aunque se observa un efecto sobre las muestras tomadas en Cultivo, las muestras tomadas en todos los sitios presentan valores que cumplen según la normativa de calidad de agua para consumo humano (concentración es < 60 mg/L).

5.1.4. Dureza total. Los valores de dureza total presentaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) en cultivos (arriba y abajo), con respecto a Pastos (arriba y abajo) y Natural (arriba y abajo). Los valores exhibieron el mismo comportamiento que calcio, valores mayores para Cultivos arriba y abajo en comparación con la cobertura Natural y Pastos, mostrando asimismo una influencia del empleo de suelo para agricultura sobre este factor. Debido a que la dureza expresa principalmente la concentración de sales de calcio y magnesio, la adición de fertilizantes al suelo con altos contenidos de alguno de estos elementos puede aumentar las concentraciones (Tabla 6).

Tabla 6.

Resultados de Dureza total para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos.

Parámetro		Uso del suelo						CV
Dureza (mg/L CaCO_3)	Total	Pastos Arriba	Pastos Abajo	Cultivos Arriba	Cultivos Abajo	Natural Arriba	Natural Abajo	
Media		76,09 ^b	76,09 ^b	124,33 ^a	121,67 ^a	76,48 ^b	82,48 ^b	18,03
NVACAS		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
NVGCAS		ND	ND	ND	ND	ND	ND	
NCACH		C	C	C	C	C	C	

CV: coeficiente de variación. Medias en filas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan. NVACAS: norma para vertimientos de agroindustria a cuerpos de aguas superficiales NVGCAS: norma para vertimientos de ganadería a cuerpos de aguas superficiales NCACH: norma para calidad del agua para consumo humano C: cumple NC: no cumple NA: no aplica ND: no definido.

Al hacer una comparación con la norma de calidad de agua para consumo humano se establece que todas las muestras tomadas cumplen con los valores definidos.

5.1.5. Alcalinidad Total. Los valores para Alcalinidad total mostraron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) en Cultivos (arriba y abajo) frente a Natural (arriba y abajo) y Pastos (arriba y abajo), siendo mayores en las muestras tomadas en Cultivos. Este comportamiento se relaciona con los

resultados obtenidos para calcio y dureza y señala que es mayor la presencia de sustancias con carácter básico en aguas provenientes de fuentes influenciadas por cultivos (Tabla 7).

Tabla 7.

Resultados de Alcalinidad total para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos.

Parámetro		Uso del suelo						CV
Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	Total	Pastos Arriba	Pastos Abajo	Cultivos Arriba	Cultivos Abajo	Natural Arriba	Natural Abajo	
Media		68,33 ^{cb}	67,33 ^c	106,64 ^a	102,15 ^a	84,25 ^b	68,33 ^{cb}	12,65
NVACAS		NA	NA	NA	NA	NA	NA	
NVGCAS		ND	ND	ND	ND	ND	ND	
NCACH		C	C	C	C	C	C	

CV: coeficiente de variación. Medias en filas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan. NVACAS: norma para vertimientos de agroindustria a cuerpos de aguas superficiales NVGCAS: norma para vertimientos de ganadería a cuerpos de aguas superficiales NCACH: norma para calidad del agua para consumo humano C: cumple NC: no cumple NA: no aplica ND: no definido.

Teniendo en cuenta la normatividad para vertimientos agroindustriales y de vertimientos de ganadería a cuerpos de aguas superficiales estas no estipulan valores del contenido de alcalinidad total permitidos en el agua. Por otra parte, los valores de concentración de alcalinidad total presentes en el agua están dentro de los permitidos en la norma de calidad de agua para consumo humano.

5.1.6. pH. El pH presentó diferencias estadísticas ($p < 0.05$) en las aguas muestreadas en Cultivos arriba con respecto a Cultivos abajo, Natural arriba y abajo y Pastos abajo. Los valores obtenidos señalan que el agua que atraviesa los lugares muestreados es ligeramente ácida, con un valor máximo de pH obtenido para Cultivos arriba (6,75). Asimismo, se observó que el pH disminuyó al pasar de aguas arriba a aguas abajo, lo que indica que el uso que se le da al suelo

afecta este parámetro, debido posiblemente a las labores culturales llevadas a cabo en el sitio, como la fertilización de los cultivos.

Por otro lado, los valores de pH del agua muestreada en Pastos (arriba y abajo) y cobertura Natural (arriba y abajo) no evidenciaron diferencias estadísticas, por lo que las leves variaciones de pH no están afectadas por el uso que se da al suelo en estos lugares (Tabla 8).

Tabla 8.

Resultados de pH para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos.

Parámetro	Uso del suelo						CV
	Pastos Arriba	Pastos Abajo	Cultivos Arriba	Cultivos Abajo	Natural Arriba	Natural Abajo	
pH							
Media	6 ^{ba}	5,75 ^b	6,75 ^a	5,75 ^b	5,75 ^b	5,25 ^b	9,62
NVACAS	C	NC	C	NC	NC	NC	
NVGCAS	C	NC	C	NC	NC	NC	
NCACH	NC	NC	C	NC	NC	NC	

CV: coeficiente de variación. Medias en filas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan. NVACAS: norma para vertimientos de agroindustria a cuerpos de aguas superficiales NVGCAS: norma para vertimientos de ganadería a cuerpos de aguas superficiales NCACH: norma para calidad del agua para consumo humano C: cumple NC: no cumple NA: no aplica ND: no definido.

Al comparar los datos obtenidos con los valores máximos permisibles para las normas establecidas por el gobierno colombiano para la calidad de agua de consumo humano, se observó que sólo el agua en Cultivos arriba presentó un valor de pH entre el rango exigido por la norma (6,5-9), el agua muestreada en los demás puntos tiene valores de pH menor, con una diferencia máxima de 1,25 unidades presentada por Natural abajo.

Asimismo, comparando con la norma establecida para vertimientos provenientes de la agroindustria y la ganadería, a excepción de Pastos arriba y Cultivos arriba, los valores de pH están por debajo del rango establecido (6-9).

5.1.7. Hierro. En el análisis realizado para hierro, se evidenció que los resultados de las muestras de agua tomadas en Pastos abajo tuvieron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) con relación a Pastos arriba, Cultivos arriba y abajo y Natural abajo y arriba, lo cual se permite inferir, que el uso del suelo para pasturas aumenta las concentraciones de hierro (Tabla 9).

Tabla 9.

Resultados de Hierro para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos.

Parámetro	Uso del suelo						CV
	Pastos Arriba	Pastos Abajo	Cultivos Arriba	Cultivos Abajo	Natural Arriba	Natural Abajo	
Hierro (mg/L fe)							
Media	0,09 ^b	0,18 ^a	0,08 ^b	0,06 ^b	0,07 ^b	0,07 ^b	51,20
NVACAS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
NVGCAS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
NCACH	C	C	C	C	C	C	

CV: coeficiente de variación. Medias en filas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Tukey. NVACAS: norma para vertimientos de agroindustria a cuerpos de aguas superficiales NVGCAS: norma para vertimientos de ganadería a cuerpos de aguas superficiales NCACH: norma para calidad del agua para consumo humano C: cumple NC: no cumple NA: no aplica ND: no definido.

Los valores de concentración de hierro en el agua están dentro de los permitidos en la norma para la calidad del agua para consumo humano.

5.1.8. Nitratos. Los valores reportados para nitratos no presentaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$), sin embargo, hubo una pequeña variación en las muestras de Cultivos arriba y cultivos. Los bajos valores en la concentración de nitratos en el agua se podrían atribuir a la baja presencia de nitrógeno por causa de la descomposición lenta que sufre la materia orgánica en sitios con temperaturas bajas. De este modo, las coberturas vegetales toman rápidamente el nitrógeno necesario para su desarrollo, lo que impide pérdidas por procesos de lixiviación y escorrentía superficial de nitrógeno hasta los cauces de las quebradas (Auquilla *et al*, 2006), (Tabla 10).

Tabla 10.

Resultados de Nitratos para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos.

Parámetro	Uso del suelo						CV
	Pastos Arriba	Pastos Abajo	Cultivos Arriba	Cultivos Abajo	Natural Arriba	Natural Abajo	
Nitratos (mg/L NO₃)							
Media	1,77	1,77	1,77	2,26	1,77	1,77	21,50
NVACAS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
NVGCAS	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
NCACH	C	C	C	C	C	C	

CV: coeficiente de variación. Medias en filas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan. NVACAS: norma para vertimientos de agroindustria a cuerpos de aguas superficiales NVGCAS: norma para vertimientos de ganadería a cuerpos de aguas superficiales NCACH: norma para calidad del agua para consumo humano C: cumple NC: no cumple NA: no aplica ND: no definido.

El estudio realizado mostró que los valores de concentración de nitratos en el agua están dentro de los permitidos en la norma para la calidad del agua para consumo humano. Por otro parte respecto a la normatividad para vertimientos agroindustriales y de vertimientos de ganadería a cuerpos de aguas superficiales no estipulan valores del contenido de nitritos permitidos, pero si se solicita un análisis de reporte de la afectación provocada por la actividad.

5.1.9. Nitritos. Los valores de nitritos no presentaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) y estuvieron en el límite de detección de la técnica (0,03 mg/L de NO₂) (Tabla 11).

Tabla 11.

Resultados de Nitritos para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos.

Parámetro	Uso del suelo						CV
	Pastos Arriba	Pastos Abajo	Cultivos Arriba	Cultivos Abajo	Natural Arriba	Natural Abajo	
Nitritos (mg/L NO₂)							
Media	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0
NVACAS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
NVGCAS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
NCACH	C	C	C	C	C	C	

Parámetro	Uso del suelo						CV
	Pastos Arriba	Pastos Abajo	Cultivos Arriba	Cultivos Abajo	Natural Arriba	Natural Abajo	
Nitritos (mg/L NO₂)							

CV: coeficiente de variación. Medias en filas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan. NVACAS: norma para vertimientos de agroindustria a cuerpos de aguas superficiales NVGCAS: norma para vertimientos de ganadería a cuerpos de aguas superficiales NCACH: norma para calidad del agua para consumo humano C: cumple NC: no cumple NA: no aplica ND: no definido.

El estudio realizado mostró que los valores de concentración de nitritos en el agua son bajos y cumplen con los valores permitidos por la norma para la calidad del agua para consumo humano. Por otra parte, respecto a la normatividad para vertimientos agroindustriales y de vertimientos de ganadería a cuerpos de aguas superficiales no estipulan valores del contenido de nitritos permitidos.

5.1.10. Sulfatos. Las concentraciones de sulfatos exhibieron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre Cultivos arriba con relación a Pastos (arriba y abajo) y Natural (arriba y abajo), evidencia un efecto del uso del suelo. Aunque se muestra una disminución de la concentración de sulfatos entre cultivos arriba y cultivos abajo esta es muy baja y no significativa, por lo cual no se puede asegurar que esta variación se deba a las actividades culturales realizadas en agricultura (Tabla 12).

Tabla 12.

Resultados de Sulfatos para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos.

Parámetro	Uso del suelo						CV
	Pastos Arriba	Pastos Abajo	Cultivos Arriba	Cultivos Abajo	Natural Arriba	Natural Abajo	
Sulfatos (mg/L SO₄)							
Media	10 ^b	10 ^b	17,75 ^a	14,53 ^{ba}	10 ^b	10 ^b	23,11
NVACAS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
NVGCAS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
NCACH	C	C	C	C	C	C	

CV: coeficiente de variación. Medias en filas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan. NVACAS: norma para vertimientos de agroindustria a cuerpos

Parámetro		Uso del suelo					CV
Sulfatos (mg/L SO4)	Pastos Arriba	Pastos Abajo	Cultivos Arriba	Cultivos Abajo	Natural Arriba	Natural Abajo	
de aguas superficiales NVGCAS: norma para vertimientos de ganadería a cuerpos de aguas superficiales NCACH: norma para calidad del agua para consumo humano C: cumple NC: no cumple NA: no aplica ND: no definido.							

Al evaluar los valores de sulfatos presentes en el agua de cada uno de los usos del suelo, de acuerdo con la norma para calidad de agua para el consumo humano se encontró que las concentraciones de sulfatos están dentro de las permitidas.

5.1.11. Demanda Química de Oxígeno (DQO). Los resultados para DQO no evidenciaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$). Aunque los valores encontrados para las muestras tomadas en Cultivos variaron con respecto a las tomadas en la cobertura natural, el coeficiente de variación tan alto no permite atribuir dichas variaciones al cambio del uso del suelo (Tabla 13).

Tabla 13.

Resultados de DQO para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos.

Parámetro	Uso del suelo						CV
Demanda química de oxígeno (mg/L O ₂)	Pastos Arriba	Pastos Abajo	Cultivos Arriba	Cultivos Abajo	Natural Arriba	Natural Abajo	
Media	25	25	71	25	44,75	32	111,17
NVACAS	C	C	C	C	C	C	
NVGCAS	C	C	C	C	C	C	
NCACH	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
CV: coeficiente de variación. Medias en filas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan. NVACAS: norma para vertimientos de agroindustria a cuerpos de aguas superficiales NVGCAS: norma para vertimientos de ganadería a cuerpos de aguas superficiales NCACH: norma para calidad del agua para consumo humano C: cumple NC: no cumple NA: no aplica ND: no definido.							

Los valores obtenidos de demanda química de oxígeno (DQO) están dentro de los permitidos para la norma de vertimientos de la agroindustria y la norma de vertimientos de ganadería. Por

otro lado, la norma de calidad de calidad de agua para el consumo humano no establece valores para este parámetro.

5.1.12. Fosfatos. Los valores de fosfatos no presentaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$), lo cual evidencia que en este parámetro el cambio de uso del suelo no afecta la concentración de fosfatos en el agua (Tabla 14).

Tabla 14.

Resultados de Fosfatos para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos.

Parámetro	Uso del suelo						CV
	Pastos Arriba	Pastos Abajo	Cultivos Arriba	Cultivos Abajo	Natural Arriba	Natural Abajo	
Fosfatos (mg/L PO₄)							
Media	0,1	0,14	0,13	0,14	0,1	0,1	40,73
NVACAS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
NVGCAS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
NCACH	C	C	C	C	C	C	

CV: coeficiente de variación. Medias en filas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan. NVACAS: norma para vertimientos de agroindustria a cuerpos de aguas superficiales NVGCAS: norma para vertimientos de ganadería a cuerpos de aguas superficiales NCACH: norma para calidad del agua para consumo humano C: cumple NC: no cumple NA: no aplica ND: no definido.

Los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio tienen valores permitidos dentro de la norma de calidad del agua para consumo humano. Para el caso de norma para vertimientos de agroindustria y la norma para vertimientos de ganadería a cuerpos de aguas superficiales, estas no contemplan este parámetro.

5.2. Parámetros microbiológicos

5.2.1. Coliformes totales. Considerando la variable Coliformes totales, se encontró que Pastos arriba y abajo presentó diferencias estadísticas ($p < 0.05$) con respecto a Natural arriba y Cultivos arriba, observándose en esta última el valor de Coliformes totales más bajo de todas las coberturas. Pese a que no hubo diferencias significativas entre las demás coberturas, se apreció un aumento en los valores de Coliformes totales al comparar las muestras tomadas arriba con respecto a las muestras tomadas abajo, siendo más marcada en Cultivos, posiblemente por el efecto de las labores culturales llevadas a cabo en el sitio (Tabla 15).

Tabla 15.

Resultados de Coliformes totales para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos.

Parámetro	Uso del suelo						CV
	Pastos Arriba	Pastos Abajo	Cultivos Arriba	Cultivos Abajo	Natural Arriba	Natural Abajo	
Coliformes totales (UFC/100 mL)							
Media	4166,67 ^a	4233,33 ^a	863,33 ^b	2933,33 ^{ba}	1366,67 ^b	1925 ^{ba}	58,36
NVACAS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
NVGCAS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
NCACH	NC	NC	NC	NC	NC	NC	

CV: coeficiente de variación. Medias en filas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan. NVACAS: norma para vertimientos de agroindustria a cuerpos de aguas superficiales NVGCAS: norma para vertimientos de ganadería a cuerpos de aguas superficiales NCACH: norma para calidad del agua para consumo humano C: cumple NC: no cumple NA: no aplica ND: no definido.

Los valores de coliformes totales no cumplen según la normativa de calidad de agua para consumo humano, lo que indica que hay residuos de materia fecal que está afectando las fuentes hídricas.

5.2.2. Escherichia coli. Los resultados para *E. coli* muestran diferencias estadísticas ($p < 0.05$). Los valores de cultivos arriba se diferencian de Cultivos abajo en aproximadamente 80 UFC/100 mL, observándose el efecto del uso del suelo sobre estos valores, que se puede atribuir al uso de

fertilizantes orgánicos. Aunque la diferencia entre cobertura Natural y Pastos no presenta diferencias estadísticas ($P < 0.05$), una de las razones del incremento en pastos pudiera ser la presencia de ganado ovino y bovino en la zona de muestreo (Tabla 16).

Tabla 16.

Resultados de Escherichia coli para las muestras de agua analizadas y su comparación con las normas de calidad de agua para consumo humano y vertimientos.

Parámetro	Uso del suelo						CV
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 mL)	Pastos Arriba	Pastos Abajo	Cultivos Arriba	Cultivos Abajo	Natural Arriba	Natural Abajo	
Media	56,67 ^{ba}	36,67 ^b	40 ^b	123,33 ^a	5 ^b	10 ^b	101,58
NVACAS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
NVGCAS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
NCACH	NC	NC	NC	NC	NC	NC	

CV: coeficiente de variación. Medias en filas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan. NVACAS: norma para vertimientos de agroindustria a cuerpos de aguas superficiales NVGCAS: norma para vertimientos de ganadería a cuerpos de aguas superficiales NCACH: norma para calidad del agua para consumo humano C: cumple NC: no cumple NA: no aplica ND: no definido.

Los valores de *E. Coli* no cumplen con la normativa de calidad de agua para consumo humano, debido a la presencia de heces fecales de animales y el uso de fertilizantes orgánicos.

El estudio realizado por Alexandra *et al.*, (2019) titulado Calidad de agua de la quebrada Mamarramos. Santuario De Flora y Fauna Iguaque, donde se realizaron tres jornadas de muestreo, en estación seca, en diez puntos de monitoreo donde se relacionaron la abundancia de macroinvertebrados y las variables fisicoquímicas presentes en el agua se encontraron que los valores de pH son más altos y cercanos a valores neutros entre 6.8 y 7.5 a los encontrados en este estudio donde los valores varían entre 5.25 y 6.75 valores mínimos y máximos. Las concentraciones de alcalinidad encontradas en el páramo del Almorzadero fueron más altas con valores máximas en los puntos de monitoreo para cultivos de 106.6 mg/L y 102.156mg/L y mínimos de 68.36mg/L y 67.3 6mg/L para pastos arriba y pastos abajo respectivamente, frente a

7.2 mg/L y 25mg/L que fueron los valores máximos encontrados en la quebrada Mamarramos. Igualmente, las concentraciones de Dureza donde Alexandra *et al.*, (2019) encontraron valores máximos y mínimos entre 2.3 mg/L y 14.3 mg/L respectivamente frente a 124 mg/L y 76 mg/L como valores máximos y mínimos encontrados en cultivos y pastos respectivamente para este estudio. Del mismo modo, Los valores de nitratos variaron entre 0.5 mg/L y 1.3mg/L frente a concentraciones un poco mayores para el siguiente estudio donde se evidenciaron 1.7 mg/L y 2.25mg/L como concentraciones mínimas y máximas. Por ultimo las concentraciones de Fosfatos mostraron niveles más altos que los encontrados en el Santuario De Fauna Iguaque, con valores de 0.01 mg/L y 0.14 Flora para este estudio a diferencia con los encontrados por Alexandra *et al.*, (2019) donde no se evidencio presencia de fosfatos.

Teniendo en cuenta las pequeñas variaciones entre los resultados de cada uno de los estudios las cuales se debe principalmente a los usos del suelo ya que en el santuario por pertenecer a un área protegida las intervenciones humanas son más bajas y en diferentes actividades a las que se presentan en el páramo del Almorzadero. Se puede concluir que las actividades en el páramo no alteran en un alto porcentaje los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua.

Aquilla *et al.*, (2006) evaluó la Influencia del uso del suelo en la calidad del agua a través de análisis físico-químicos y bacteriológicos en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica donde se seleccionaron cuatro escenarios de muestreo: naciente, bosque ribereño, pasturas y establos. Los cuales encontraron niveles para demanda química de oxígeno con valores en bosques y pasturas de 19.6 mg/L y de 23.7 mg/L respectivamente contra 44.7 mg/L en natural arriba y 32 mg/L en natural abajo con 25 mg/L en pastos arriba y 25 mg/L en pastos abajo encontrados en el páramo del Almorzadero. Por otro lado, Dureza mostro valores de 54,6 mg/L y 84,1 para bosque y pasturas con relación a 76 mg/L para pastos arriba y pastos abajo con 76.4 mg/L y 82 mg/L para natural

arriba y natural abajo respectivamente. Con relación a los niveles de fósforo para bosque y pasturas encontraron concentraciones de 0.09 mg/L y 0.12 mg/L respectivamente, valores similares a los encontrados en este estudio que fueron de 0.1 mg/L y 0.14 mg/L para pastos arriba y pastos abajo además de 0.1 mg/L para natural arriba y natural abajo. En el caso de los Nitratos mostraron valores de 2.0 mg/L y 1.0 mg/L para bosque y pasturas respectivamente los cuales son valores similares de este estudio que mostraron niveles de 1.7 mg/L para pastos arriba y abajo como también para natural arriba y abajo. De otro modo, los valores registrados para pH tienen niveles neutros o ligeramente básicos de 7.6 y 7.7 para bosque y pasturas a diferencia de los valores del páramo del almorzado que son ligeramente ácidos entre 5.75 y 6. De otro modo los resultados para los parámetros microbiológicos Auquilla et al, (2006) encontró 1511 UFC y 1552 UFC para coliformes totales en bosque y pastos respectivamente valores inferiores a los encontrados en esta investigación donde se encontraron 4167, 4233, 1367 y 1925 UFC para pastos arriba, pastos abajo, natural arriba y natural abajo respectivamente, además de encontrar presencia de *Escherichia coli* 56.7, 36.7, 5 y 10 UFC para pastos arriba pastos abajo, natural arriba y natural abajo respectivamente, valores inferiores a los registrados en los bosques 476 UFC y 713 UFC para pasturas encontrados por Auquilla et al., (2006).

6. Conclusiones

Los parámetros fisicoquímicos evaluados para determinar el efecto que tiene el cambio de uso del suelo en el páramo del Almorzadero, mostraron que los suelos destinados a cultivos son los que presentan las mayores afectaciones con relación a los demás usos de suelo estudiados, sin embargo, no alteran en gran medida la calidad del agua para consumo humano; los pastos

afectaron en una menor proporción la calidad del agua y se evidenció una menor alteración en la cobertura natural, de este modo, cabe señalar que aunque los suelos del páramo han sido empleados para actividades agropecuarias, estas no han modificado considerablemente la calidad del agua. Debido a esto, se resalta la importancia de la implementación de producciones sostenibles que favorezcan la preservación del páramo y la calidad de vida de los productores de la zona.

El análisis de los parámetros microbiológicos evidenció que las aguas con menor presencia de unidades formadoras de colonias fueron las provenientes de la cobertura natural en comparación con las provenientes de pastos y cultivos, donde se encontró que los mayores valores se presentaron en los pastos. Sin embargo, se observó que en los diferentes usos del suelo hay presencia de unidades formadoras de colonia, lo cual conlleva a que el agua no cumpla con los parámetros de calidad estipulados para el consumo humano. Por tal razón es importante la protección de los cauces y el desarrollo de producciones semi extensivas, principalmente en el sector pecuario, evitando de este modo las afectaciones microbiológicas del agua que pueden producir, a su vez, alteraciones en la salud de los habitantes que se benefician de estas fuentes hídricas.

7.Recomendaciones

A fin de mostrar resultados más precisos del efecto que tiene el uso del suelo en la calidad del agua, se recomienda complementar el estudio con la realización del análisis de suelos en cada uno de los puntos de muestreo para conocer las características fisicoquímicas y microbiológicas de los suelos y su influencia sobre los parámetros del agua.

Se recomienda realizar un estudio multitemporal, en temporadas cecas, intermedias y de invierno, con lo cual se podría evaluar el efecto de las precipitaciones sobre los parámetros contemplados para calidad de agua.

Se recomienda hacer un aislamiento de las fuentes hídricas cuyo fin sea la protección de los cauces evitando alteraciones en el agua por las actividades agropecuarias

Se recomienda implementar producciones sostenibles en el páramo El Almorzadero, las cuales beneficiaran el crecimiento económico de las personas y mejorar la calidad de vida de millones de personas que se abastecen del recurso hídrico proveniente de este ecosistema.

Referencias Bibliográficas

- Aguilar-P., M. y J.O. Rangel-Ch. (1996). *Clima de alta montaña en Colombia. El Páramo Ecosistema a proteger. Serie montañas Tropandinas*. Bogotá. Fundación Ecosistemas Andinos - ECOAN V.2 73-129. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Paramos/5595_250510__rest_alta_montana_paramo.pdf.
- Antón, A., y Lizaso, J. (2001). Nitritos, nitratos y nitrosaminas. Madrid, España. *Fundación Ibérica para la Seguridad Alimentaria*. Recuperado de https://www.academia.edu/25921074/FUNDACION_IBERICA_PARA_LA_SEGURIDAD_ALIMENTARIA.
- Auquilla, R. C., Astorga, Y., y Jiménez Otárola, F. (2006). Influencia del uso del suelo en la calidad del agua en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica. *Catie*, V. 48, 81-92. Recuperado de http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6408/Influencia_de_uso_del_suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Baca, G., Cruz, M., Cristóbal, M., Baca, G., Gutiérrez, J., Pacheco, A., ... & Rivera, I. (2014). Introducción a la ingeniería industrial. *México:Patria*, 271p.
- Cabrera, M. y W. Ramirez (Eds). 2014. *Restauración ecológica de los páramos de Colombia. Transformación y herramientas para su conservación*. Bogota, D.C, Colombia. IAvH. p, 296. Recuperado de <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/31451/257.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Cantillo, E. E., Rodriguez, K. J., & Avella, E. A. (2004). Caracterización Florística, Estructural, Diversidad Y Ordenación De La Vegetación, En La Reserva Forestal Cárpatos. *Colombia Forestal*, V. 8(17), 2-21. Recuperado de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/view/3389/4902>.
- Cerón, A. (2019). Calidad de agua de la quebrada Mamarramos. Santuario de Flora y Fauna Iguaque, Colombia. *Tecnología y ciencias del agua*, V. 10(6), 90-116. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/336951663_Calidad_de_agua_de_la_quebrada_Mamarramos_Santuario_de_Flora_y_Fauna_Iguaque_Colombia.
- Corporación Autónoma Regional De Santander. (s.f). Páramo del Almorzadero. San Gil, Colombia. CAS. Recuperado de http://cas.gov.co/25/index.php?option=com_content&view=article&id=171&Itemid=100213
- Chuez, N. M. G., Ponce, M. A. D., Zambrano, J. P. U., Cajas, C. C. T., Chuez, R. V. G., & Rosado, Á. J. Y. (2016). Uso de suelo y su influencia en la calidad del agua de la microcuenca El Sapanal, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, V. 5(2), 11. Recuperado de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKE>

wj98bLf3ZLoAhVsh-
AKHREZBoMQFjAAegQIARAB&url=https%3A%2F%2Frevistas.ucr.ac.cr%2Findex.php%2Fpensamiento-
actual%2Farticle%2Fdownload%2F2842%2F2764%2F&usg=AOvVaw1oO0J6xXpS66WwVkcS-mq_

Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca. (s.f). Guía Metodológica Para La Delimitación De Zonas De Ronda En La Jurisdicción De La -CAR. Cundinamarca, Colombia.: CAR. Recuperado de <https://www.car.gov.co/uploads/files/5bfdb36b6db2e.pdf>

Corporación Autónoma Regional Del Tolima. (2007). *Informe de gestión año 2007*. Tolima: CORTOLIMA. Recuperado de https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/nuestra/rendicion/informe_gestion_2007.pdf

Durán, L. E. Gualdrón. (2016). Evaluación de la calidad de agua de Ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos. *Dinamica ambiental*, (1), 83-102. Recuperado de <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/ambiental/article/view/4593/3916>.

Estudio Nacional de Aguas (2014). Estudio nacional de agua 2014. Bogotá: ENA. Recuperado de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf

Millennium Ecosystem Assessment (2005). Ecosistema y Bienestar Humano: Un Marco para la Evaluación. Naciones Unidas: Millennium Ecosystem Assessment Recuperado de <https://www.millenniumassessment.org/es/Framework.html>.

Garavito Rincón, L. (2015). Los páramos en Colombia, un ecosistema en riesgo. *Ingeniare*, V.19, 127-136. Recuperado de <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.19.530>.

Hofstede, R., Segarra, P., & Vásquez, P. M. (2003). *Los páramos del mundo*. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos. Quito: EcoCiencia. Recuperado de http://origin.portalces.org/sites/default/files/references/038_Hofstede%20et%20al.%20%28eds%29.2003.Los%20Paramos%20del%20Mundo.pdf

Institute Statistical Analysis System. (2009), Versión 9.2. Cary, North Carolina. SAS. Recuperado de <http://support.sas.com/documentation/92/>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2015). Culmino estudio de suelos en los páramos colombianos. Bogota, Colombia.: IGAC. Recuperado de <https://www.igac.gov.co/en/noticias/igac-culmino-estudio-de-suelos-en-los-paramos-colombianos>.

Monasterio, M., & Sarmiento, L. (1991). Adaptive radiation of *Espeletia* in the cold Andean tropics. *Trends in ecology & evolution*, V. 6(12), 387-391. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/016953479190159U?via%3Dihub>.

Colombia, Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015) Resolución 0631 del 17 de marzo de 2015. Santafé de Bogotá: Diario Oficial No. 49.486 de 18 de abril de 2015.

Recuperado de
https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MADS_0631_2015.pdf

Colombia, Ministerio de la Protección Social, y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). Santafé Bogotá: Resolución 2115 del 22 de junio 2007. 22 JUN 2007 MINSALUD & MAVDT Recuperado de https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_2115_de_2007.pdf

Ministerio De Medio Ambiente. (2002). Programa para el Manejo Sostenible Y Restauración de Ecosistemas de la Alta Montaña Colombiana: MINAMBIENTE. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyserviciosEcosistemicos/pdf/Paramos/5595_250510__rest_alta_montana_paramo.pdf

Ministerio del Medio Ambiente, (2002). Programa para el manejo sostenible y restauración de ecosistemas de la Alta montaña colombiana: paramo y subpáramo. Bogotá: MINAMBIENTE. Documento de trabajo. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyserviciosEcosistemicos/pdf/Paramos/5595_250510__rest_alta_montana_paramo.pdf.

Morales, J. A., Estévez, J. V. (2006). El páramo: ¿ecosistema en vía de extinción?. Manizalez *Revista Luna Azul*. V.22, 39-51 Recuperado de <https://isfcolombia.uniandes.edu.co/images/documentos/paramoextinsion.pdf>

Posada, J. A., Abril, G., & Parra, L. N. (2008). Diversity of aquatic macroinvertebrates of Páramo de Frontino. Antioquia, Colombia. *Caldasia*, V. 30(2), 441-455. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v30n2/v30n2a11.pdf>.

Rangel-Ch, J. O., & Velázquez, A. (1997). *Métodos de estudio de la vegetación. Colombia diversidad biótica II. Tipos de vegetación en Colombia*. Bogotá, Colombia. Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/view/3389/4902>.

Robledo, J., Vanegas, E. A., & García, N. (2014). Calidad del agua del río Túnico como respuesta al uso del suelo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, V. 23(3), 41-45. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v23n3/rcta07314.pdf>

Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col*. Recuperado de https://books.google.com.co/books?id=ZEjgIKZTF2UC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.

Romero, J. A. (1996). *Acuiquímica. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana e ingeniería*, Recuperado de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=2ahUKEwj_8sq8jZPoAhVqdt8KHa0hCpAQFjAFegQIAxAB&url=https%3A%2F%2Fdialnet.uniri

oja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F4810974.pdf&usg=AOvVaw1JPPL7QUTXYoFkm25EimzF.

Sergio Andrés Patiño Herrera. (s.f) *Especies de flora y fauna amenazadas en los páramos de Colombia*. Recuperado de <https://www.monografias.com/trabajos72/especies-flora-fauna-amenazadas-colombia/especies-flora-fauna-amenazadas-colombia2.shtml>.

Soluciones Medioambientales y aguas (2016). *Eutrofización: efectos de contaminación del agua y su tratamiento*. SMA. Recuperado de <http://www.smasa.net/eutrofizacion/>

Steel R., Torrie, J. (1992). *Bioestadística: principios y procedimientos*. Recuperado de <https://clea.edu.mx/biblioteca/Steel%20Robert%20G%20-%20Bioestadística%20Principios%20Y%20Procedimientos%202ed.pdf>

Zamora, J. R. Badilla. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre. *Pensamiento Actual*, V. 9(12), 125-134. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5897932>

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Nombre de la persona que toma la muestra:
Fecha de muestreo:
Hora de muestreo:
Lugar y dirección del sitio de muestreo:
Coordenada:
Altura:
Nombre del muestreo:

Apéndice A. Etiqueta para muestras de agua.

[illegible]

Apéndice B. Formulario de recolección de datos



Apéndice C. Socialización del convenio



Apéndice D. Socialización del trabajo a realizar



Apéndice E. Reconocimiento de la zona



Apéndice F. Cobertura Natural.



Apéndice G. Pastizales



Apéndice H. Cultivos



Apéndice I. Determinación del área de los diferentes cuerpos de agua.



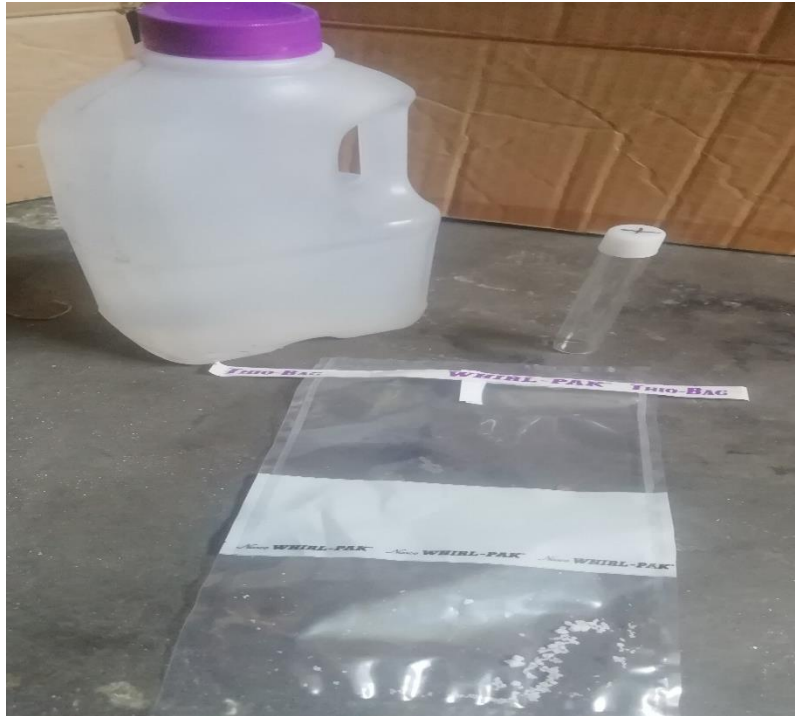
Apéndice J. Georreferenciación de los cuerpos de agua



Apéndice K. Tabulación de datos.



Apéndice L. Georreferenciación de los puntos de muestreo para la calidad del agua



Apéndice M. Recipientes para la recolección de las muestras.



Apéndice N. Toma de temperatura en el agua.



Apéndice O. Toma de muestra fisicoquímica



Apéndice P. Toma de muestra de DQO



Apéndice Q. Toma de muestra microbiológica



Apéndice R. Determinación del pH para las muestras de agua.



Apéndice S. pH metro y Clasificación utilizado



Apéndice T. Etiquetado y Preservación de las muestras



Apéndice U. Recepción de las muestras en el laboratorio