

**INFLUENCIA DE LAS ACTIVIDADES AGROPECUARIAS SOBRE EL CONTENIDO
DE NITRÓGENO EN EL AGUA SUPERFICIAL DE UNA UNIDAD HIDROGRÁFICA
EN EL PÁRAMO DE BERLÍN (SANTANDER, COLOMBIA)**

María Juliana Barrera Cadena

Emily Bautista Prada

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingenieras Civiles

Director

Daniela Cristina Rey Romero

M.Sc. Planificación y desarrollo de recursos hídricos

Codirector

Edgar Ricardo Oviedo Ocaña

PhD. Ingeniería sanitaria y ambiental

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2022

Dedicatoria

A mis abuelos, Manuel, Verónica y Flor por su amor y sus enseñanzas que me ayudaron a ser la
persona que hoy soy.

A mi mamá, por su amor, comprensión y paciencia infinita.

A Emily, por ser la mejor compañía durante este proyecto y durante la universidad.

A mis hermanos, amigos y todas las personas que aportaron un granito de arena para este
proyecto.

Pero, sobre todo, a mi papá por haber creado este sueño y haberme impulsado a lograrlo.

María Juliana Barrera Cadena

A mi mamá y a mi hermana, por su increíble amor y ser siempre un apoyo incondicional.

A mis amigas, especialmente a Juliana por acompañarme durante todos estos años y darnos la
oportunidad de crecer juntas.

A Zafi.

Emily Bautista Prada

Agradecimientos

Gracias a nuestros directores, a la profesora Daniela Rey y a el profesor Ricardo Oviedo, por su paciencia, apoyo y orientación durante la realización de este proyecto.

Al grupo GPH, por darnos la oportunidad de hacer parte de esta investigación.

Especialmente gracias a la comunidad el Páramo de Berlín que nos abrió sus puertas y nos acogió durante todo el proceso de toma de datos.

María Juliana Barrera Cadena

Emily Bautista Prada

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Marco referencial	13
1.1. Ecosistema de alta montaña – Páramo	13
1.2. Distrito de Manejo Integrado del Páramo de Berlín	14
1.3. Contaminación difusa por nitrógeno de origen agrícola.....	15
2. Objetivos	18
2.1 Objetivo General.....	18
2.2 Objetivos Específicos.....	18
3. Metodología	19
3.1. Revisión de literatura	19
3.2. Descripción de la zona de estudio.....	21
3.3. Recolección de información	27
3.4. Análisis de muestras en laboratorio	30
3.5. Análisis estadístico.....	30
4. Resultados	33
4.1. Caracterización de las prácticas agropecuarias en la unidad hidrográfica.....	33
4.1.1. Preparación de terreno	33
4.1.2. Fertilización	34
4.1.3. Control de plagas y enfermedades	36
4.1.4. Riego.....	37
4.1.5. Cosecha	38

4.1.6. Postcosecha	39
4.1.7. Pastoreo.....	39
4.2. Análisis de los parámetros medidos In situ: caudal, pH y conductividad eléctrica.....	40
4.2.1. Caudal	40
4.2.2. pH.....	42
4.2.3. Conductividad eléctrica	43
4.3. Variación espacial de las concentraciones de nitratos (NO ₃ ⁻) y nitrógeno total (NT) en el agua superficial	46
4.3.1. Nitrógeno total	46
4.3.2. Nitratos.....	49
4.3.3. Relación entre los niveles de nitrógeno total y nitratos en el agua superficial	54
4.4. Normativa aplicable	55
5. Conclusiones	57
Referencias bibliográficas.....	59
Apéndices.....	66

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Distribución de la vegetación en el DMI del Páramo de Berlín</i>	15
Tabla 2. <i>Características principales para la selección de los puntos de muestreo de agua.</i>	23
Tabla 3. <i>Fertilizantes sintéticos utilizados en la zona de estudio.</i>	35
Tabla 4. <i>Comparación de caudales con los registrados en un estudio anterior en época seca.</i> ..	42
Tabla 5. <i>Agrupación de datos de pH por prueba de Fisher.</i>	43
Tabla 6. <i>Agrupación de datos de conductividad eléctrica por prueba de Fisher.</i>	44
Tabla 7. <i>Concentraciones de nitrógeno total encontradas en estudios internacionales similares</i>	47
Tabla 8. <i>Agrupación de datos de nitrógeno total por prueba de Fisher.</i>	49
Tabla 9. <i>Comparación de concentraciones de nitrato con los registrados en un estudio anterior</i> <i>en época seca.</i>	51
Tabla 10. <i>Concentraciones de nitratos encontrados en estudios internacionales similares.</i>	52
Tabla 11. <i>Agrupación de datos de nitratos por prueba de Dunn</i>	54

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Criterios de búsqueda y descarte para la revisión bibliográfica</i>	20
Figura 2. <i>Distribución de los puntos de muestreo seleccionados en la unidad hidrográfica</i>	21
Figura 3. <i>Aplicación de técnicas de observación en campo para descripción de las prácticas agrícolas</i>	23
Figura 4. <i>Cultivos en la zona intervenida</i>	25
Figura 5. <i>Evidencia de animales de pastoreo en la zona de estudio</i>	26
Figura 6. <i>Vegetación típica de zona no intervenida</i>	27
Figura 7. <i>Medición de parámetros de pH y conductividad eléctrica en los puntos N2 e I2</i>	28
Figura 8. <i>Toma de muestras de agua en el punto II</i>	29
Figura 9. <i>Variación del caudal en los puntos de muestreo de la unidad hidrográfica</i>	41
Figura 10. <i>Variación espacial de las concentraciones de (A) nitratos, (B) nitrógeno total, (C) pH y (D) conductividad eléctrica en el agua superficial de la unidad hidrográfica</i>	45
Figura 11. <i>Relación entre las concentraciones de nitrógeno total (NT) y nitratos (NO₃⁻)</i>	55

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. <i>Revisión bibliográfica de artículos relacionados con el tema de estudio</i>	66
Apéndice B. <i>Instrumento de recolección de información en campo: guía de observación</i>	78
Apéndice C. <i>Métodos de análisis de muestras en el laboratorio para los parámetros de nitrógeno total y nitratos</i>	81
Apéndice D. <i>Recopilación de datos e información relevante tomada durante la campaña de muestreo</i>	83
Apéndice E. <i>Análisis estadístico de los datos obtenidos in situ y en el laboratorio</i>	86
Apéndice F. <i>Normativa internacional para parámetros de calidad del agua aplicable a este estudio</i>	101

Resumen

Título: Influencia de las actividades agropecuarias sobre el contenido de nitrógeno en el agua superficial de una unidad hidrográfica en el Páramo de Berlín (Santander, Colombia)*

Autor: María Juliana Barrera Cadena y Emily Bautista Prada**

Palabras Clave: Calidad del agua, contaminación difusa, páramo, prácticas agropecuarias, variación espacial, nitrógeno, nitratos.

Descripción: El continuo crecimiento de las actividades agropecuarias en los páramos se ha identificado como una de las principales causas de contaminación difusa sobre los cuerpos de agua, afectando el equilibrio del ecosistema y la salud de las personas que se abastecen de ellos. Este estudio caracteriza las actividades agropecuarias típicas en una unidad hidrográfica de aproximadamente 215 ha, ubicada en el Páramo de Berlín, Colombia; y analiza la influencia de estas sobre los parámetros de nitrógeno total (NT), nitratos (NO_3^-), conductividad eléctrica y pH en el agua superficial del ecosistema mediante un monitoreo en época lluviosa. Las concentraciones de nitratos y nitrógeno total halladas en el agua superficial se encuentran en un rango de 0.11 a 2.77 mgNO_3^- -N/L y 0.43 a 3.94 mgN/L, respectivamente, y varían espacialmente incrementando a medida que el curso del cauce atraviesa las zonas intervenidas dentro de la unidad hidrográfica. Si bien estos valores cumplen con los niveles sugeridos internacionalmente para consumo humano y uso agrícola, el impacto de dichas actividades en la calidad del agua superficial es notorio al tratarse de una unidad hidrográfica pequeña y podría agravarse a medida que se expanden los cultivos en el territorio, por lo cual resulta necesario implementar prácticas agrícolas más eficientes que logren mitigar el incremento de la contaminación.

* Trabajo de Grado

**Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil

Abstract

Title: Influence of agricultural activities on the nitrogen content in the surface water of an hydrographic unit in Páramo de Berlín (Santander, Colombia)*

Author(s): María Juliana Barrera Cadena and Emily Bautista Prada**

Key Words: water quality, non-point-source pollution, páramo, agricultural practices, spatial variation, nitrogen, nitrates.

Description: The continuous growth of agricultural activities in paramo regions has been identified as one of the main causes of non-point-source pollution on water bodies affecting the balance of the ecosystem and the health of the people who are supplied by them. This study characterizes the typical agricultural activities in a hydrographic unit of approx. 215 ha in Páramo de Berlín, Colombia; and analyzes its influence on the parameters of total nitrogen (TN), nitrates (NO_3^-), electrical conductivity and pH in the surface water of the ecosystem through a rainy season monitoring. The concentrations of nitrates and total nitrogen found in surface water range from 0.11 to 2.77 $\text{mgNO}_3^- \text{-N/L}$ and 0.43 to 3.94 mgN/L , respectively, and vary spatially as the stream crosses intervened areas. Although these values satisfy the international levels suggested for drinking water and agricultural uses, the impact of these activities on the quality of surface water is notorious as it is a small hydrographic unit and could worsen throughout the territory as crops expand, for which it results necessary the implementation of more efficient agricultural practices that manage to mitigate the increase of contamination.

* Degree Work

**Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil

Introducción

El aumento de la población mundial y la obligación de satisfacer sus necesidades alimentarias ha generado un incremento significativo del uso de fertilizantes en los últimos años para facilitar el crecimiento de los cultivos. Desde la década de los 60, el uso de fertilizantes sintéticos nitrogenados se ha multiplicado por nueve a nivel mundial, además se espera un aumento de un 40% a 50% durante los próximos 40 años (Sutton et al., 2013). Debido al uso inadecuado de estos fertilizantes, las prácticas agrícolas se han convertido en una fuente significativa de contaminación de los cuerpos de agua superficiales (UNESCO, 2009). Solo en la Unión Europea, el 38% de las fuentes hídricas están contaminadas principalmente por dichas actividades y en Estados Unidos la agricultura se considera la primera causa de contaminación de ríos y arroyos (FAO & IWMI, 2018).

De igual forma, en América Latina existen estudios en Chile y Colombia que muestran el impacto directo de la agricultura industrial intensiva y la agricultura tradicional a pequeña escala (Salgado & Flügel, 2008; Uribe et al., 2018) en la contaminación de fuentes hídricas debido a la presencia excesiva de nutrientes provenientes del uso de fertilizantes. Estos efectos se relacionan con la baja eficiencia de utilización del nitrógeno por parte de los cultivos y desencadenan impactos como condiciones de hipoxia y eutrofización que comprometen directamente la vida de peces, invertebrados y otros organismos.

En cuanto a la importancia de los páramos como ecosistemas estratégicos, en países como Ecuador, el 85% de las fuentes de agua que se usan para consumo humano, sistemas de

energía hidroeléctrica e irrigación agrícola se originan en el páramo (Ruiz-Orozco, 2009). Por otra parte, en Colombia los páramos son centros de importancia económica y cultural que dependen directamente de los grupos humanos que los habitan (MINAMBIENTE, 2001) y a su vez sustentan el suministro del recurso hídrico para consumo humano y desarrollo de actividades económicas de más del 70% de su población (MINAMBIENTE, 2022).

Particularmente, el Complejo de Páramos Jurisdicciones – Santurbán – Berlín, se ha visto amenazado por el crecimiento de actividades agrícolas y ganaderas (Lopez et al., 2012) que comprometen la calidad del recurso hídrico que abastece aproximadamente a 2’500.000 personas de 68 municipios distribuidos en los departamentos de Boyacá (2 municipios), Cesar (6 municipios), Norte de Santander (40 municipios) y Santander (20) que se benefician directa o indirectamente de las fuentes hídricas que se originan en él (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humbolt, 2014).

Por esto, el Grupo de Investigación en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (GPH-UIS) ha realizado estudios exploratorios sobre el efecto del uso del suelo en la calidad del agua en el páramo de Berlín (Gómez & Quintero, 2020) (Larrota-Ballesteros, 2020), los cuales evidenciaron el incremento de las concentraciones de nutrientes, especialmente de nitrógeno, en las fuentes hídricas superficiales del área de estudio.

Este trabajo de grado se enmarca en el proyecto de investigación titulado “Estrategias para la reducción de pérdidas de nitrógeno en cultivos de cebolla junca que promuevan la resiliencia de pequeños agricultores del Páramo de Berlín, frente a los retos económicos

derivados de la pandemia” que actualmente desarrolla el grupo de investigación GPH y tiene como objetivos caracterizar las prácticas agrícolas típicas del sector y analizar la variación espacial de los parámetros de nitrógeno total y nitratos en las fuentes de agua superficial de la misma mediante una campaña de muestreo realizada en época lluviosa.

1. Marco referencial

1.1. Ecosistema de alta montaña – Páramo

El páramo es un ecosistema de alta montaña endémico de los países del norte de Sur América y el sur de Centro América cuyos límites pueden hallarse entre los 3000 y los 5000 msnm de altitud (Luteyn et al., 1999). En Sudamérica, los páramos forman un corredor ininterrumpido entre la cordillera de Mérida en Venezuela hasta la depresión de Huancabamba en el norte de Perú. La ecorregión de páramo cubre unos 35000 km² y el páramo más al norte está en la Sierra Nevada de Santa Marta en Colombia (Hofstede et al., 2003).

En cuanto a su flora, el páramo alberga unas 5000 especies vegetales diferentes. Alrededor del 60% de estas especies son endémicas, adaptadas a las condiciones fisicoquímicas y climáticas específicas del ecosistema, como la baja presión atmosférica, la intensa radiación ultravioleta y los efectos del viento. Esta vegetación consiste principalmente de arbustos, pajonales, rosetales y herbáceas de páramo. En algunas zonas, hay un claro gradiente de vegetación altitudinal, en el subpáramo, de 3000 a 3500 m de altitud, arbustos y pequeños árboles se alternan con pastizales. Además, se pueden desarrollar extensos bosques nubosos en

ciertos lugares, que consisten en árboles pequeños, retorcidos y con hojas pequeñas y gruesas (Buytaert et al., 2006).

El clima en este ecosistema es modificado por varios factores como las condiciones topográficas, altitud, ubicación e intervención antrópica. Debido a esto, es posible que se generen diversos microclimas donde las temperaturas suelen variar drásticamente durante el día. En general, los páramos poseen climas fríos con humedad relativa que varía entre 70 y 85%, y niveles de precipitación anual que van desde los 500 a los 2000 mm (Luteyn et al., 1999; Rangel-Ch, 2000).

1.2. Distrito de Manejo Integrado del Páramo de Berlín

El Páramo de Berlín está ubicado en el nororiente colombiano dentro de la Unidad Biogeográfica del Páramo de Santurbán, en los departamentos de Santander (municipio de Tona) y Norte de Santander (municipios de Silos y Mutiscua), posee una altura mínima de 2200 msnm y máxima de 4100 msnm (Restrepo et al., 2008), precipitación promedio desde 698.2 mm/año hasta 1516.9 mm/año dependiendo de la zona y una temperatura media anual de 8.8°C, según las mediciones de las estaciones climatológicas del IDEAM (IDEAM, 2011).

Según como se muestra en la Tabla 1, el uso del suelo del área del Páramo de Berlín posee mayoritariamente vegetación natural de páramo; adicional a esto, existen zonas intervenidas por actividades agropecuarias como la ganadería y cultivos de *Solanum tuberosum* (papa) y *Allium fistulosum* (cebolla de rama) (Restrepo et al., 2008).

Tabla 1.*Distribución de la vegetación en el DMI del Páramo de Berlín*

Cobertura	Distribución (%)	Área (ha)
Vegetación de páramo	80.58	35675
Cultivos transitorios (cebolla junca)	9.78	4328
Pastos naturales	6.28	2779
Cultivos (papa), pastos y rastrojos	2.04	903
Otros (pastos con árboles, rastrojo, afloramiento rocoso, coníferas secundario)	1.32	587
Total	100	44272

Fuente: (Restrepo et al., 2008).

1.3. Contaminación difusa por nitrógeno de origen agrícola

El nitrógeno es un nutriente limitante de la biodiversidad en ecosistemas, debido a que es clave para la supervivencia de los seres humanos y demás organismos vivos (Erisman et al., 2015). Su ciclo está constituido por las interacciones de las diferentes formas (orgánicas e inorgánicas) con los organismos, el agua, el suelo y la atmósfera. En este proceso, las formas orgánicas de nitrógeno son convertidas a formas inorgánicas como amonio (NH_4^+), nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-) por procesos de mineralización que dan lugar a las formas disponibles en el suelo para el aprovechamiento por parte de las plantas (Florencia et al., 2019).

Por su parte, la contaminación difusa puede definirse como la introducción de contaminantes a un curso de agua, a través de vías indirectas cuya fuente no es posible establecer con exactitud (Alfaro & Salazar, 2005). También es altamente episódica y está asociada con los

cambios en el uso del suelo y las condiciones ambientales específicas del sector, tales como: pendiente, tipo de suelo, precipitación y humedad (Avila et al., 2013; Ferrier et al., 2005).

Según la EPA (Environmental Protection Agency, de Estados Unidos), en los países donde la agricultura y la ganadería tienen una participación importante en la economía, la contaminación difusa es la principal responsable del deterioro de las aguas continentales (Universidad Santiago de Compostela, 2011). Esto se debe en gran medida al uso frecuente de fertilizantes en procesos agrícolas, la incorporación de materia orgánica al suelo y el uso de plaguicidas que son posteriormente transportados por la escorrentía hasta los cuerpos de agua superficial (Canatário, 2006) (FAO & IWMI, 2018; Sutton et al., 2013). Uno de los contaminantes críticos son los nitratos que al ser muy solubles y poseer carga negativa, se pierden del suelo por el lavado debido a la ausencia de mecanismos de adsorción (Florencia et al., 2019).

El proceso de eutrofización de aguas es una de las principales consecuencias de la contaminación difusa de origen agrario, esta da lugar a una proliferación de algas y plantas acuáticas. Eventualmente, este crecimiento de algas resulta indeseable porque dificulta el flujo del agua, tiene un efecto estético negativo y/o disminuye el valor recreativo del agua. Además, generan una disminución considerable del oxígeno disuelto durante su proceso de descomposición y afectan la transparencia del agua disminuyendo la luz que llega a las profundidades generando pérdidas de biodiversidad (Universidad Santiago de Compostela, 2011).

La salud humana también puede verse afectada por la presencia de las diferentes formas de nitrógeno en el agua. Las mujeres gestantes y los bebés de hasta 6 meses son la población que presenta mayor riesgo debido a que el consumo de agua contaminada por nitrógeno puede generar metahemoglobinemia, esta enfermedad causa cambios en la hemoglobina que reducen significativamente los niveles de oxígeno en la sangre impidiendo el desarrollo normal de las células en los organismos (Departamento de Servicios de Salud de California, 2006).

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

- Analizar la variación espacial del contenido de nitratos y su relación con el contenido de nitrógeno total producto de actividades agropecuarias en el agua superficial de una unidad hidrográfica intervenida en el Páramo de Berlín

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar las prácticas y usos del suelo presentes en la unidad hidrográfica.
- Determinar la variación espacial de las concentraciones de nitratos y nitrógeno total en el agua superficial en distintos puntos a lo largo del cauce principal y sus tributarios importantes.

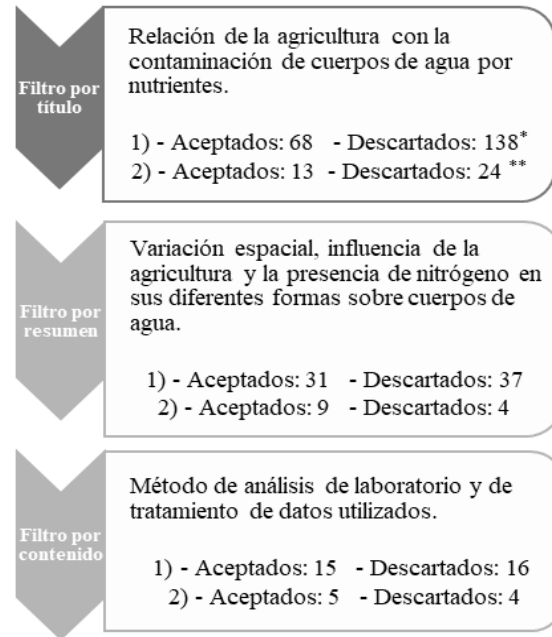
3. Metodología

3.1. Revisión de literatura

Para la revisión de literatura se realizó una búsqueda en la plataforma Scopus mediante el acceso remoto de la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander enfocada principalmente en artículos sobre contaminación difusa de fuentes superficiales generada por procesos agropecuarios, centrados en el análisis espacial de nitrógeno.

Entre las búsquedas realizadas se obtuvo la mayor cantidad de artículos relacionados usando la siguiente combinación de palabras clave: “water quality” AND (nitrogen OR nitrate) AND agriculture AND “non-point-source pollution” Sin embargo, se realizó una búsqueda complementaria enfocada en ecosistemas similares al área de estudio utilizando la combinación de palabras clave: water AND (nitrogen OR nitrate) AND agriculture AND (Andes OR Colombia).

Para filtrar los documentos arrojados por ambas búsquedas se utilizaron los criterios que se indican en la Figura 1 y los resultados fueron organizados en una base de datos en Excel (Apéndice A) incluyendo las siguientes características: DOI, título del artículo, año de publicación, país de publicación, número de citas, autores, área de estudio, parámetros analizados y análisis estadísticos utilizados.

Figura 1.*Crterios de búsqueda y descarte para la revisión bibliográfica*

**1) resultados de la búsqueda principal **2) resultados de la búsqueda complementaria.*

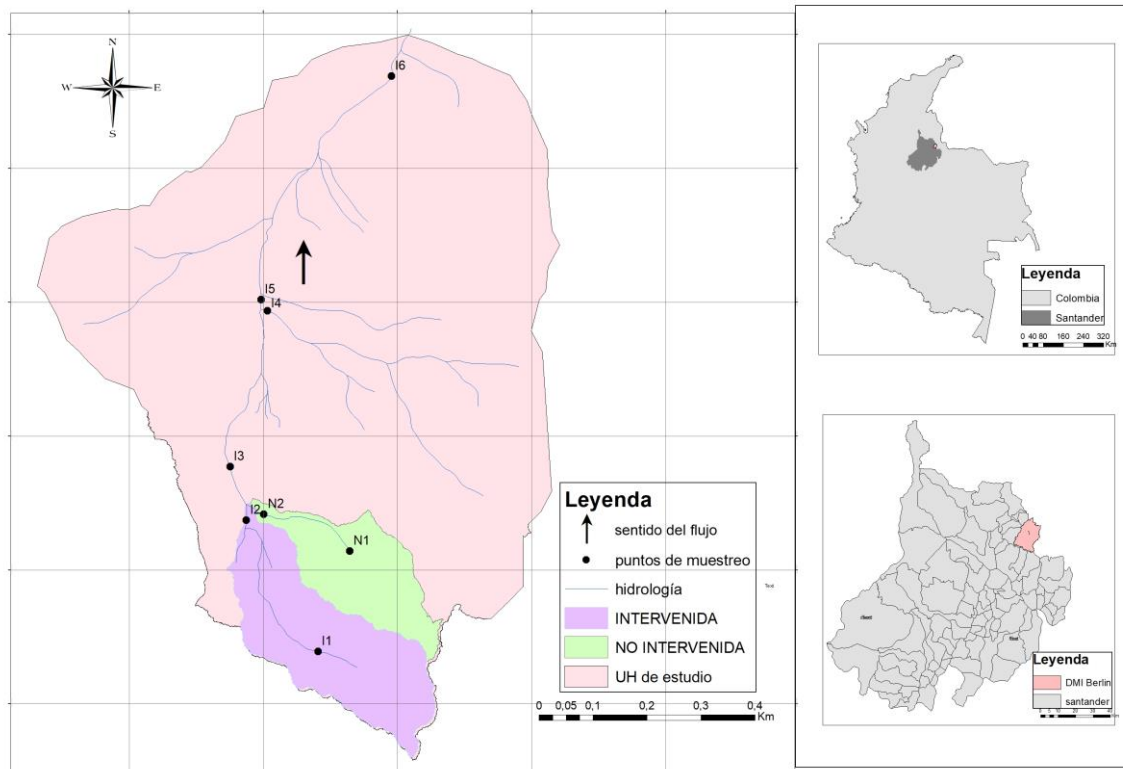
Esta revisión de literatura se realizó con el objetivo de seleccionar los métodos de análisis estadísticos a utilizar en este estudio basados en los usados en estudios similares que se adaptaban al contexto de esta investigación. De igual forma, con el fin contrastar resultados mediante la recolección de información acerca de las prácticas agrícolas y su influencia sobre los niveles de contaminación por nutrientes en las fuentes hídricas, además de prácticas de mitigación y/o control que permitan disminuir los efectos adversos de las actividades agropecuarias en el ecosistema.

3.2. Descripción de la zona de estudio

La unidad hidrográfica de estudio (Figura 2) se encuentra ubicada en el Páramo de Berlín y posee una superficie de aproximadamente 215 ha. En la parte alta de esta unidad hidrográfica, se ubican dos unidades hidrográficas de menor área, una intervenida con actividades agropecuarias de aproximadamente 23.8 ha de extensión y una no intervenida que posee vegetación propia del páramo con aproximadamente 15.0 ha(Gómez & Quintero, 2020).

Figura 2.

Distribución de los puntos de muestreo seleccionados en la unidad hidrográfica.



**El sentido del flujo del agua es en dirección norte.*

Antes de empezar con la campaña de muestreos se realizó una visita de reconocimiento (Figura 3) con el fin de recolectar información acerca de las prácticas agropecuarias habituales en la zona de estudio mediante la implementación de una guía de observación en campo (Apéndice B) y definir los puntos de muestreo del agua superficial. Estos puntos fueron seleccionados estratégicamente debido a su posición geográfica dentro de la unidad hidrográfica de estudio, su accesibilidad, su proximidad a sitios con actividad agrícola pronunciada, entre otras características propias de cada punto de muestreo como se muestra en la Tabla 2.

A cada punto de muestreo se le asignó un código, en donde las letras N e I indican que el punto está ubicado en un área sin o con intervención agrícola, respectivamente. Estos se muestran en la Figura 2.

Figura 3.

Aplicación de técnicas de observación en campo para descripción de las prácticas agrícolas.

**Tabla 2.**

Características principales para la selección de los puntos de muestreo de agua.

Punto de Muestreo	Características
N1	Nacimiento en zona no intervenida, existen captaciones de agua y vegetación propia de páramo.
N2	Cierre de la unidad hidrográfica no intervenida, de vegetación típica de páramo. Se encuentra una estructura para medición de caudal mediante el método de vertedero perteneciente al grupo GPH.
I1	Nacimiento de la unidad hidrográfica intervenida, rodeado de vegetación típica de páramo.

Punto de Muestreo	Características
I2	Cierre de la unidad hidrográfica intervenida. Se encuentra una estructura para medición de caudal mediante el método de vertedero perteneciente al grupo GPH. Aguas arriba se encuentra la finca F1 donde existen plantaciones de cebolla de rama y se realizan captaciones de agua.
I3	Confluencia entre las unidades hidrográficas, rodeado de pastizales.
I4	Punto de muestreo en la salida de la finca F2 donde existen asentamientos humanos a su alrededor además de actividades agrícolas como siembra de cebolla de rama y papa y presencia de animales bovinos y ovinos.
I5	Confluencia de los puntos de muestreo I3 e I4. Existen asentamientos humanos a su alrededor además de actividades agrícolas como siembra de cebolla de rama y papa y presencia de animales bovinos y ovinos.
I6	Cierre de la unidad hidrográfica estudiada, aguas abajo del punto I5. Rodeado de asentamientos humanos y cultivos de cebolla de rama pertenecientes a la finca F3.

Para la caracterización de la unidad hidrográfica se visitaron 3 fincas: una en la parte alta, otra en la parte media y otra en la parte baja, que serán llamadas F1, F2 y F3 respectivamente.

La finca F1 se encuentra entre los puntos I1 (nacimiento) e I2 (cierre) de la unidad hidrográfica intervenida. Esta finca cuenta con áreas cultivadas de aproximadamente 0.4 ha con pendientes alrededor del 3.6%. La principal actividad agrícola es el cultivo de cebolla de rama y existen reducidas actividades de pastoreo (bovinos y ovinos) como se puede observar en las Figuras 4 y 5.

La finca F2 se encuentra aguas arriba de los puntos I4 e I5. Esta representa una extensión importante de la unidad hidrográfica de estudio, posee cultivos de papa y cebolla de rama, además cuenta con una laguna artificial dedicada a la cría de *Oncorhynchus mykiss* (trucha arcoíris).

La finca F3 se encuentra ubicada en los linderos del punto I6. Esta y varias fincas adyacentes presentan cultivos de cebolla y cuentan con la presencia de algunos animales de pastoreo bovinos y ovinos.

Figura 4.

Cultivos en la zona intervenida.



En cuanto a la unidad hidrográfica no intervenida, dentro de esta se encuentran los puntos de análisis N1y N2. En la Figura 6 se muestra un ejemplo de la vegetación existente en esta zona, la cual es mayoritariamente vegetación propia de páramo.

En esta zona no se presentan asentamientos humanos de ningún tipo, pero existen captaciones de agua para el abastecimiento (consumo humano y riego) de fincas de la parte media de la unidad y se evidenció la presencia de algunos animales bovinos y ovinos.

Figura 5.

Evidencia de animales de pastoreo en la zona de estudio.

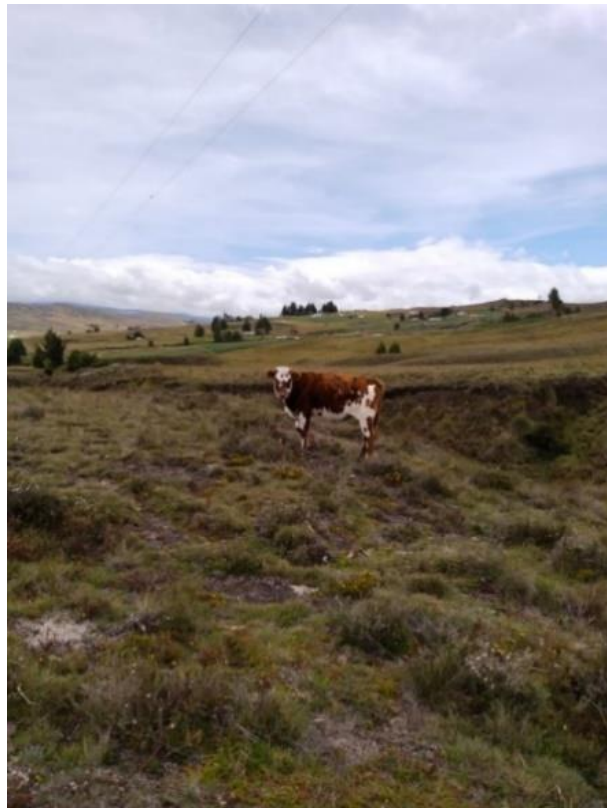


Figura 6.

Vegetación típica de zona no intervenida.



Para la caracterización de las prácticas agrícolas se escogió la finca F1 ubicada en la parte alta de la zona de estudio como muestra para realizar un estudio más detallado. Pues al ser esta una productora de cebolla de rama a pequeña escala permitía caracterizar de manera controlada las prácticas típicas de cultivo y pastoreo, además existió la disponibilidad de sus habitantes para colaborar con el proyecto.

3.3. Recolección de información

Posteriormente, se inició la campaña de muestreo la cual consistió en la toma de un total de 5 muestras realizadas semanalmente en una época de altas precipitaciones comprendida entre los meses de septiembre y octubre del año 2021. Durante las visitas, se monitorearon los

parámetros de pH, conductividad eléctrica (CE) y temperatura en campo, adicionalmente se recolectaron muestras de agua en los puntos indicados en la Figura 2 para su respectivo análisis de nitratos y nitrógeno total en el laboratorio.

Como se muestra en la Figura 7, para el análisis de pH y conductividad eléctrica se utilizó un equipo medidor multiparámetro portátil marca Mettler Toledo® y se realizaron 3 mediciones en campo de cada parámetro. Adicional a esto, se realizaron aforos de caudal en todos los puntos mediante el método volumétrico en los puntos I1, N1, N2, I2 e I3 y el método área-velocidad usando un medidor magnético de velocidad marca Hach® en los puntos I4, I5 e I6.

Figura 7.

Medición de parámetros de pH y conductividad eléctrica en los puntos N2 e I2.



En cuanto a las muestras, durante los dos primeros muestreos, para el estudio de los parámetros de nitratos y nitrógeno total se llenaron 2 recipientes de 250 ml en cada uno de los puntos (Figura 8) que fueron preservados con hielo a una temperatura igual o menor a 6°C según lo recomendado por la adaptación de Hach® de los Métodos Estándar para el Análisis de Aguas Potables y Residuales (Hatch Company, 2000) con el fin de evitar alteraciones durante el transporte al laboratorio. Para los tres muestreos restantes, debido a la imposibilidad de analizar inmediatamente el parámetro de nitrógeno total se tomó una muestra adicional de un litro a la cual se añadió ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado con el fin de preservarla para hacer el análisis dentro de los siguientes 28 días, tiempo en el cual no se ven afectadas sus propiedades según lo establecido en los Métodos Estándar para el Análisis de Aguas (APHA-AWWA-WEF., 2017).

Figura 8.

Toma de muestras de agua en el punto II.



Adicional al trabajo de campo, se utilizaron fuentes secundarias de información sobre los cultivos presentes en la zona de estudio como documentos técnicos, manuales de siembra, vídeos informativos, entre otros. De igual forma, se realizaron reuniones con miembros del grupo GPH para obtener información adicional acerca de las entrevistas y encuestas realizadas previamente a la comunidad de la zona de estudio para el macroproyecto.

3.4. Análisis de muestras en laboratorio

Los análisis de nitrógeno total y nitratos se realizaron utilizando un espectrofotómetro portátil DR3900 y un digestor DRB200, ambos de la marca Hach®, que hacen parte del laboratorio del grupo de investigación GPH de la Universidad Industrial de Santander.

Dichos análisis se realizaron utilizando el método de reducción de cadmio para medición de nitratos y el método de digestión de persulfato para nitrógeno total, cuyos protocolos se presentan en el Apéndice C de este documento. Estos son adaptaciones propuestas por Hach® de los Métodos Estándar para el Análisis de Aguas Potables y Residuales (APHA-AWWA-WEF., 2017) que pueden realizarse utilizando kits de reactivos comercializados por este proveedor.

3.5. Análisis estadístico

Inicialmente se realizó un análisis descriptivo de los datos obtenidos con el fin de caracterizar su comportamiento. Para este análisis se realizaron diagramas de cajas o boxplot,

cálculo de medias, desviaciones estándar y coeficientes de variación por medio del complemento de RealStatistics en Excel.

Con el fin de elegir el método de análisis indicado para estudiar la variación espacial de cada uno de los parámetros medidos y conociendo que los datos se comportan aleatoriamente, se evaluaron las demás condiciones para conocer si era posible aplicar pruebas ANOVA a los datos obtenidos durante el muestreo: prueba de normalidad y prueba de homogeneidad de varianza. Adicionalmente, estos métodos de análisis fueron seleccionados puesto que se evidenció durante la revisión de literatura que han sido aplicados en múltiples estudios con objetivos similares a esta investigación (Uemaa et al., 2018), (L. Wang et al., 2019) (Y. Wang et al., 2014), (Uribe. et al., 2020)

La normalidad de los datos se verificó mediante la distribución Ryan-Joiner (similar a Shapiro-Wilk) con significancia $\alpha=0.01$ en una versión de prueba del software Minitab, dado que esta prueba de normalidad se adaptaba a los datos obtenidos y ha sido utilizada en estudios de carácter similar (Chena et al., 2021). Para esta prueba se consideró como hipótesis nula (H_0) que los datos se ajustan a una distribución normal y como hipótesis alternativa (H_i) que los datos no se ajustan a una distribución normal.

La homogeneidad de varianzas se evaluó mediante el método de Bartlett con significancia $\alpha=0.01$ en una versión de prueba del software Minitab. Para esta prueba se consideró como hipótesis nula (H_0) que los datos poseían homogeneidad de varianzas y como hipótesis alternativa (H_i) que los datos no poseían homogeneidad de varianzas.

Para los parámetros que cumplieron dichos supuestos, las pruebas de análisis de varianza (ANOVA) fueron realizadas por medio de la versión de prueba del software Minitab con significancia de $\alpha=0.05$. Para estas pruebas se utilizó la hipótesis nula (H_0) de que la muestra poseía medias iguales y como hipótesis alternativa (H_i) que la muestra no poseía medias iguales.

Posterior a la aplicación de ANOVA se utilizó la prueba *post-hoc* de Fisher mediante el uso de la versión de prueba del software Minitab con el fin de agrupar los datos y verificar como se ven afectados estos parámetros debido a la variación espacial.

Para los parámetros que no cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas se optó por aplicar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis con significancia de $\alpha=0.05$. Para esta se utilizó la hipótesis nula (H_0) de que todas las medianas de la muestra eran iguales y la hipótesis alternativa (H_i) de que al menos una de las medianas de la muestra era diferente. Se tomó el valor H ajustado para empates y se comparó con los valores de la distribución de chi cuadrado para 7 grados de libertad teniendo en cuenta que se analizaron 8 grupos de datos.

Posterior a la aplicación de esta prueba no paramétrica se utilizó la prueba *post-hoc* de Dunn la cual es equivalente a la prueba de Fisher (ANOVA) para no paramétricas (J.Sheskin, 2000). Esta prueba fue realizada con el complemento RealStatistics para Excel con el fin de agrupar los resultados y evidenciar como influye la variación espacial sobre los puntos de muestreo. Para esta prueba se utilizó significancia $\alpha=0.05$ con hipótesis nula (H_0) de que las medianas de los datos son similares e hipótesis alternativa (H_i) de que las medianas de los datos son significativamente diferentes.

4. Resultados

4.1. Caracterización de las prácticas agropecuarias en la unidad hidrográfica

En general, en la zona predominan los cultivos de cebolla de rama y estos siguen prácticas comunes de siembra artesanal que abarcan procesos como: preparación del terreno, fertilización, control de plagas y enfermedades, riego, cosecha y postcosecha.

4.1.1. Preparación de terreno

La labranza del terreno permite remover el suelo superficial para mejorar sus condiciones físicas y alcanzar una mejor circulación de aire y agua, esto permite facilitar el desarrollo y crecimiento de las plantas y además la eliminación de maleza e incorporación de residuos vegetales, fertilizantes y/o herbicidas (CORPOICA Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 2012) (INIA Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2017).

Para la labranza del terreno en el área de estudio se utilizan inicialmente tractores y posterior a esta actividad se realizan manualmente surcos perpendiculares a la pendiente que permiten el paso peatonal y facilitan el drenaje.

4.1.2. Fertilización

La fertilización es uno de los factores que ejercen mayor influencia en la productividad de los cultivos (INTAGRI, 2022). En particular, el nitrógeno es considerado como el más importante de los nutrientes en los cultivos de cebolla, ya que tiene gran influencia en el crecimiento de la planta y el rendimiento de la misma, sobre todo en la fase de crecimiento vegetativo, desde la siembra hasta el inicio del bulbeo donde se sintetiza gran cantidad de proteínas (PROAIN, 2020).

En cuanto a los fertilizantes orgánicos, en la zona de estudio se emplea la pollinaza, la cual, si bien posee un alto potencial para aumentar la fertilidad de los suelos y la productividad de los cultivos (Monomeros Colombo Venezolanos S.A, 1998), puede ejercer efectos ambientales negativos, cuando esta no ha sido procesada adecuadamente. En estos casos, es considerada un agente contaminante debido a la facilidad de pérdida de nutrientes por lixiviación y a la presencia de microorganismos patógenos (González, 2020).

La fertilización en la finca F1 se lleva a cabo de forma intuitiva como es tradicional en los cultivos artesanales. Esta actividad es realizada principalmente con abonos orgánicos como pollinaza sin ningún tratamiento previo o compostaje que son suministrados una única vez al inicio de la cosecha cada 3 meses. Esta práctica favorece la pérdida de nutrientes ya que, al dosificar el equivalente necesario para toda la cosecha en una sola aplicación en lugar de periódicamente, la planta es incapaz de absorber la totalidad de nutrientes presentes en el suelo

por lo que los excesos de estos pueden perderse mediante los lixiviados resultantes luego de las lluvias y el riego.

En la zona de estudio también se hace uso de fertilizantes sintéticos ricos en nutrientes (Tabla 3), especialmente fósforo, nitrógeno y potasio. Estos fertilizantes son dosificados de manera irregular (aproximadamente cada 10-15 días) y su aplicación depende principalmente de la disponibilidad económica del agricultor. Teniendo en cuenta las concentraciones de nutrientes presentes en esos fertilizantes, se podría inferir que, aunque no es la única, la principal fuente de nitrógeno en el agua es la aplicación de pollinaza utilizada en los cultivos.

Tabla 3.

Fertilizantes sintéticos utilizados en la zona de estudio.

Nombre Comercial del Fertilizante	Componentes
NUTRIFOS-K Agrofert (AGROFERT, 2022b)	Fósforo (P ₂ O ₅) - 400g/l Potasio (K ₂ O) - 600 g/l Boro (B) - 3 g/l Zinc (Zn) - 5 g/l
MF FRUTOKA Microfertisa (Microfertisa, 2022)	Nitrógeno total (NT) - 3% Nitrógeno nítrico (N) - 3% Potasio (K ₂ O) - 40% Magnesio (MgO) - 2% Azufre (S) - 12% Boro (B) - 0,5% Fitohormonas (ANA) - 0,05%
BULLTERR-K Agrofert (AGROFERT, 2022a)	Potasio (K ₂ O) - 500 g/l Magnesio (MgO) - 8 g/l Azufre (S) - 8g/l Boro (B) - 17g/l Cobre (Cu) - 1,5 g/l

4.1.3. Control de plagas y enfermedades

Las enfermedades en cultivos son consideradas una amenaza importante debido a las elevadas pérdidas que ocasionan a la producción. En cuanto a las plagas, no todas las especies que se alimentan de un cultivo deben considerarse plagas, así como la presencia de estas no implica necesariamente el uso de una medida de control (CORPOICA Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 2012).

En la zona de estudio la presencia de plagas es persistente ya que existen varias razones que dificultan su control como: la no rotación de cultivos (únicamente se siembra cebolla), el cultivo permanente sin descanso entre cosechas y el fuerte olor que desprenden los fertilizantes orgánicos no tratados y los desechos de las cosechas anteriores frecuentemente atraen diferentes especies de insectos. El control de plagas en la zona de estudio se realiza principalmente para evitar la presencia de dichos insectos con la aplicación de pesticidas comerciales como el Koyote EC.

En la zona es también evidente la presencia de babosas que se alimentan de tejido vegetal tierno y contaminan las hojas con su excremento (CORPOICA Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 2012), el control de esta plaga ha sido particularmente difícil para los agricultores del sector ya que el ambiente de los cultivos facilita su supervivencia, usualmente se intentan controlar con plaguicidas de uso comercial (Babosil) y aplicación de cal, no obstante, estos intentos no han generado los resultados esperados por lo que se ha optado por convivir con dicha plaga.

En cuanto a las enfermedades del cultivo, en la zona de estudio el diagnóstico de estas es realizado por los agricultores de manera empírica. En el área cultivada es bastante común la presencia de hongos que causan enfermedades al cultivo de cebolla; ello debido principalmente a la humedad del suelo producto de las frecuentes precipitaciones características del ecosistema de páramo y del riego excesivo. Su control es realizado con fungicidas como: Manzate 200 WG, Mancozeb y Aguila WG.

Por lo cual, el uso adecuado de plaguicidas, herbicidas y fungicidas resulta importante ya que puede ayudar a mitigar la contaminación por nutrientes en los cuerpos de agua, puesto que un cultivo de plantas sanas permite un mejor aprovechamiento de los nutrientes en el suelo evitando que estos queden disponibles en el ambiente y puedan ser transportados hasta los cuerpos de agua. (Salamanca-Castillo, 2020) (CORPOICA Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 2012). Por lo anterior es importante evaluar las técnicas utilizadas en las estrategias de control para corregir, mejorar y optimizar los resultados, disminuyendo así el impacto causado en el entorno (INIA Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2017).

4.1.4. Riego

El manejo del riego tiene gran importancia en la vida del cultivo, se debe considerar la especie, la variedad, la densidad y el periodo fenológico de la plantación además de la calidad química y biológica del agua (INIA Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2017). Un adecuado manejo del riego permite el ahorro de agua y mejora la calidad del cultivo.

En época seca, el riego en la zona de estudio se realiza por medio de aspersión. Su regularidad depende del tipo de suelo cultivado, según la textura que perciben los agricultores: los suelos arenosos tienden a ser regados con mayor frecuencia (día por medio o cada 3 días) mientras que los suelos arcillosos poseen tiempos más largos entre riegos (hasta 8 días).

La frecuencia de riego no cambia según la etapa de crecimiento de la planta; además, según se observó en las visitas de campo, en algunas zonas de las huertas, los drenajes no están realizados de manera correcta; situaciones que pueden dar explicación al encharcamiento que ocurre ocasionalmente en los cultivos y que posiblemente incide en el crecimiento de hongos. En época de lluvias no se aplica riego.

4.1.5. Cosecha

El momento oportuno de cosecha está dado por el índice de madurez que está constituido por el número de días transcurridos desde la siembra o el corte anterior. El primer corte se realiza en promedio a los 5 meses de sembrada la semilla y luego se cosecha aproximadamente cada 3 meses (CORPOICA Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 2012). El tiempo adecuado de cosecha garantiza mayor peso y mejor calidad del producto lo que permite un mejor precio de mercado y mayor tiempo de conservación (INIA Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2017).

En la zona de estudio, la cosecha del producto se realiza de forma manual con frecuencia trimestral. Además de esto se realiza desyerbe manual y con herbicidas.

4.1.6. Postcosecha

En la zona de estudio, el proceso de postcosecha comienza con un curado que permite el secado de las capas externas del bulbo y consiste en dejar la cosecha lo largo de los surcos en contacto con el suelo con el fin de que se evapore la humedad superficial que tiene el producto (INIA Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2017),(CORPOICA Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 2012).

Posteriormente la cebolla se clasifica y se realiza el atado poniendo los gajos en un solo sentido hasta lograr el peso requerido.

Por último, la cebolla es transportada en camiones cubiertos por carpas negras, durante este proceso se puede generar deterioro debido a la manipulación brusca y la vibración durante el camino (CORPOICA Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 2012), luego de esto la cebolla llega a su destino para ser comercializada.

4.1.7. Pastoreo

En la zona de estudio se realizan prácticas de pastoreo continuo de bovinos y ovinos como vacas, y ovejas que se alimentan directamente de la cobertura vegetal existente.

Particularmente, en la finca F1 existe menos de una decena de animales de pastoreo cuyo mantenimiento se da para el autoconsumo y el comercio de productos como leche y demás derivados lácteos como el queso. Por esto, es posible observar que el pastoreo no es la principal

fuerza económica de la zona y posiblemente no representa un impacto importante sobre el ecosistema.

4.2. Análisis de los parámetros medidos *In situ*: caudal, pH y conductividad eléctrica

A continuación, se presenta el análisis de los resultados obtenidos de los días de muestreo para los parámetros analizados *in situ*: pH, caudal y conductividad eléctrica.

4.2.1. Caudal

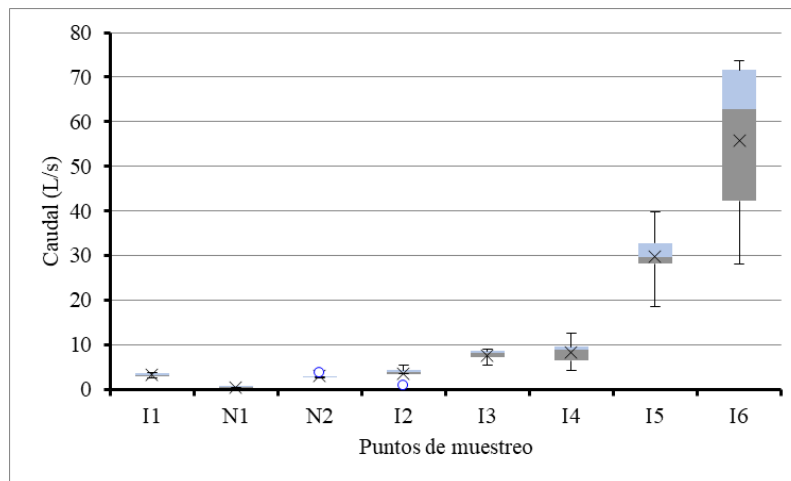
En la Figura 9 se muestra la variación del caudal a lo largo de la campaña de muestreo donde el caudal máximo promedio se identificó en el cierre de la unidad hidrográfica (punto I6) con un valor de 55.71 L/s y el mínimo se presentó en el nacimiento de la unidad hidrográfica no intervenida (punto N1) con un valor promedio de 0.39 L/s.

Es posible identificar que los caudales de la mayoría de los puntos no presentaron cambios significativos durante este periodo a excepción del cierre de la unidad hidrográfica (I6). Es importante resaltar que los cambios presentados en los volúmenes registrados durante los muestreos se deben principalmente a la extracción por parte de los habitantes de la zona para el consumo y la realización de actividades como el riego, especialmente en el último punto debido a que al ser el cierre de la unidad hidrográfica este se encuentra bastante sujeto extracciones aguas arriba. Adicional a esto, durante la campaña de muestreo se presentaron varios eventos de

precipitación (Apéndice D, Tabla 6) por los cuales se observa un aumento significativo en la magnitud los caudales registrados durante estos días.

Figura 9.

Variación del caudal en los puntos de muestreo de la unidad hidrográfica.



Adicionalmente, en la Tabla 4 se muestra una comparación de los caudales obtenidos en un estudio realizado anteriormente en época seca en los mismos puntos y es posible observar que existe un aumento en el caudal atribuido a las fuertes lluvias que se presentaron en el páramo durante los meses de septiembre y octubre del año 2021. También es posible evidenciar que el cierre de la unidad hidrográfica no intervenida (punto N2) es el único que no cumple dicho comportamiento e incluso muestra una disminución en los valores, esto puede ser producto de errores de medición debido a pérdidas al momento de captar el agua para realizar el aforo volumétrico ya que es un punto de difícil acceso o a algún evento relacionado al desvío y/o absorción del agua a causa de la abundante cobertura vegetal existente.

Tabla 4.

Comparación de caudales con los registrados en un estudio anterior en época seca

Punto	Valor de Caudal Promedio registrado (L/s)	
	Época Seca (febrero 2020)	Época Lluviosa (septiembre – octubre 2021)
I1	1.37	3.19
I2	1.49	3.51
N1	0.61	0.39
N2	2.15	2.93
I3	4.21	7.67
I4*	--	8.33
I5	--	29.82
I6	22.98	55.71

*Los puntos 4 y 5 son puntos no evaluados anteriormente

4.2.2. pH

En la Figura 10-C se muestra la variación espacial del pH en los puntos de muestreo, se puede evidenciar que sus medias fluctúan entre 7.05 hasta 7.56 unidades de pH (Tabla 5) siendo los puntos que presentan valores menores aquellos que se ven altamente influenciados por actividades agropecuarias como lo son I4, I5 e I6, esto puede estar relacionado al uso de insumos agrícolas (fertilizantes, plaguicidas, herbicidas, entre otros) que agregan ácido al suelo y por consiguiente al agua a lo largo del cauce.

Además de la proximidad a las zonas intervenidas por actividad humana, según la agrupación de datos mostrada en la Tabla 5 se puede evidenciar que existe también una relación

entre la ubicación geográfica de los puntos y sus niveles de pH, puesto que puntos cercanos muestran valores similares.

Tabla 5.

Agrupación de datos de pH por prueba de Fisher.

Punto muestreo	N*	Media	s**	Agrupación			
I2	5	7.56	0.12	A			
N2	5	7.5	0.16	A			
I1	5	7.46	0.13	A	B		
I3	5	7.42	0.13	A	B		
N1	4	7.37	0.15	A	B	C	
I5	5	7.23	0.26		B	C	D
I4	5	7.17	0.1			C	D
I6	5	7.05	0.31				D

*N: Número de muestras, **s: desviación estándar de la muestra

4.2.3. Conductividad eléctrica

En la Figura 10-D y la Tabla 6 se puede observar que este parámetro arroja valores cercanos a los 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en los nacimientos y puntos con baja intervención agropecuaria, esto puede ser producto de los componentes naturales del suelo.

Tabla 6.*Agrupación de datos de conductividad eléctrica por prueba de Fisher.*

Punto muestreo	N*	Media ($\mu\text{S/m}$)	s** ($\mu\text{S/m}$)	Agrupación		
I4	5	62.52	7.93	A		
I5	5	62.39	7.38	A		
I6	5	58.99	8.39	A		
I2	5	45.03	6.89	B		
N2	5	39.31	8.91	B	C	
I3	5	32.95	2.37		C	D
N1	4	32.34	2.34		C	D
I1	5	29.36	6.11			D

*N: Número de muestras, **s: desviación estándar de la muestra

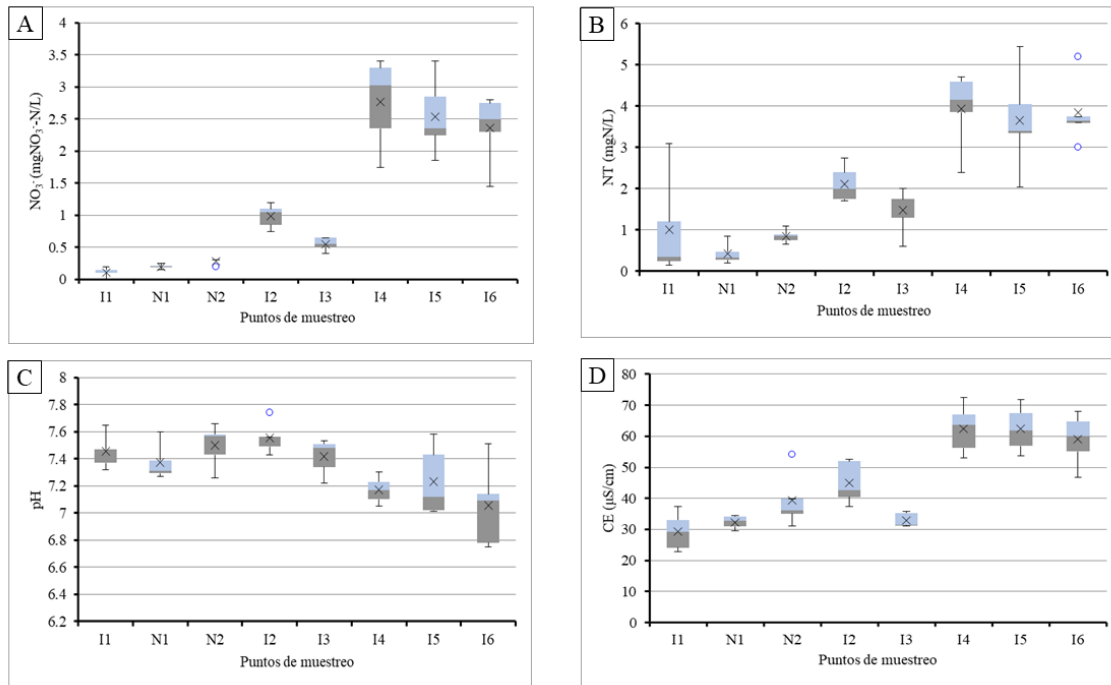
El cierre de la unidad hidrográfica no intervenida (N2) presenta valores cercanos a los de ambos nacimientos y las mínimas variaciones presentadas pueden ser producto del aumento de componentes iónicos naturales presentes en el suelo que son arrastrados por la escorrentía hasta este punto.

Por el contrario, el cierre de la unidad intervenida de menor escala (I2) sí presenta una variación significativa a comparación de su nacimiento, esto puede ser producto de la adición de sales al suelo debido al uso de los fertilizantes inorgánicos con alta carga de potasio mencionados anteriormente en este artículo, este comportamiento se ve reflejado en los demás puntos aledaños a zonas agrícolas aguas abajo a excepción del punto de confluencia (I3) debido a la dilución del cierre de la UH intervenida (I2) con el cierre de la UH no intervenida (N2).

En general, todos los puntos de muestreo presentan valores de conductividad relativamente altos en comparación a los niveles encontrados en estudios anteriores realizados en el sector en época seca (Gómez & Quintero, 2020), lo que implica que el aumento de la salinidad en los cuerpos de agua puede deberse al uso de fertilizantes inorgánicos que son adicionalmente transportados por las lluvias mediante el fenómeno de escorrentía hasta los cuerpos de agua durante los eventos de precipitación.

Figura 10.

Variación espacial de las concentraciones de (A) nitratos, (B) nitrógeno total, (C) pH y (D) conductividad eléctrica en el agua superficial de la unidad hidrográfica.



4.3. Variación espacial de las concentraciones de nitratos (NO_3^-) y nitrógeno total (NT) en el agua superficial

Todos los resultados del análisis estadístico presentado a continuación se encuentran consignados en el Apéndice E.

4.3.1. Nitrógeno total

Como es posible observar en la Tabla 8 y en la Figura 10-B, la concentración máxima promedio registrada para este parámetro se presentó en el punto de muestreo I4 con un valor de 3.94 mg-N/L y la mínima con un valor promedio de 0.43 mg-N/L corresponde a la naciente de la unidad hidrográfica no intervenida (punto N1).

Los resultados de nitrógeno total muestran que los puntos I1 y N1, así como N2, presentan las menores concentraciones. Esto está asociado al mínimo aporte de fuentes de nitrógeno en estos puntos, los cuales, eventualmente podrían estar relacionados con la degradación de materia vegetal orgánica y al estiércol bovino, especialmente en el punto I1 y N2 que resultan de fácil acceso para dichos animales. El punto I2 muestra un crecimiento significativo en las concentraciones de nitrógeno respecto al punto I1 con valores promedio de 1.01 mgN/L a 2.12 mgN/L a pesar de que el tramo del cauce entre estos puntos es solo de 0.55 km. En el punto I3 se evidencia una disminución en las concentraciones de nitrógeno causada del aporte de caudal otorgado por el punto N2. En el punto I4 se registraron los niveles más altos para este parámetro, lo cual podría estar relacionado a las actividades de siembra de papa y

cebolla que existe aguas arriba en la finca F2. Para los puntos I5 e I6 se registra nuevamente una dilución en las concentraciones debido a que existe aporte de caudal por parte de otros afluentes que no fueron evaluados en este estudio.

A continuación, en la Tabla 7 se muestran varios estudios similares realizados en países como Corea y China en cuencas con zonas de cobertura natural e intervenidas por actividades agrícolas en los cuales se registraron concentraciones de magnitudes comparables a los niveles encontrados en esta investigación en zonas con baja actividad agrícola como en el área de estudio, mientras que en cuencas con mayor intervención estos aumentan de manera significativa mostrando que existe una afectación por parte de las actividades agrícolas. Existen excepciones como en el caso de los estudios 1 y 2 donde se registraron altos valores en cuencas con mayor porcentaje de bosques y vegetación natural, esto puede deberse a que son zonas con pendientes muy pronunciadas que facilitan el transporte de materia vegetal y residuos de los cultivos a las fuentes de agua superficial en eventos de precipitación

Tabla 7.

Concentraciones de nitrógeno total encontradas en estudios internacionales similares

No.	Lugar de estudio	Uso del suelo	Temporada	Nitrógeno Total (mg/L)			Área (ha)	Referencia
				Media	Mínimo	Máximo		
1	Cuenca Haean Gangwon, Corea	Bosque (91%) Cultivos (9%)	Lluviosa	4.88	2.72	7.92	6174	(Reza et al., 2016)
2	Cuenca río Geum Daegokchon, Corea	Bosque (99.5%)	Lluviosa y seca*	1.08	ND**	3.10	338	(Kim et al., 2007)
		Bosque (94.2%) Cultivos (2.5%)		1.08	0.22	5.90	285	
		Bosque (82.3%) Cultivos (14.8%)		2.00	0.58	4.06	497	

No.	Lugar de estudio	Uso del suelo	Temporada	Nitrógeno Total (mg/L)			Área (ha)	Referencia
				Media	Mínimo	Máximo		
		Bosque (44.8%) Cultivos (35.9%)		4.38	1.16	17.00	2737	
3	Lago Doam Soncheo, Corea	Bosque y pastizales (55.9%) Cultivos (35.7%)	Seca	4.44	2.39	7.82	11910	(Kwak, Sungjin, Bal Dev Bhattarai, Eunjung Kim, Changkeun Lee & Heo, 2012)
			Lluviosa	4.69	1.48	12.72		
4	Río Geum Corea	Bosque y cultivos	Lluviosa	0.87	0.21	3.77	15.1	(Yoon et al., 2010)
5	Río Tanjiang Shuangqiao, China	Bosque - cultivos- pastizales	Lluviosa/seca	3.52	2.08	4.73	13100	(Hu & Huang, 2014)

*Este estudio realizó un extenso muestreo durante los meses de marzo a septiembre del 2002 y no se separaron los análisis por época y existen 4 unidades hidrográficas de estudio.

**ND: No detectado

Adicional a lo anterior, en la Tabla 8 es posible evidenciar que los puntos N1, I1 y N2 se comportan de manera similar en términos estadísticos con concentraciones promedio entre 0.43 y 1.01 mgN/L donde se refleja la baja intervención agrícola que existe en estos lugares. De igual forma, los puntos I4, I5 e I6 se comportan de manera similar con concentraciones promedio entre 3.66 y 3.94 mgN/L debido a su proximidad a zonas intervenidas con mayor actividad agropecuaria. En cuanto a los puntos I2 con valor promedio de 2.12 mgN/L e I3 con 1.48 mgN/L, es posible observar que estos difieren significativamente de los demás, esto puede ser debido a que en los lugares aledaños al punto I2 existe menor actividad agropecuaria a comparación de los demás puntos intervenidos y a que en el punto I3 existe una dilución de concentración ya explicada anteriormente.

Tabla 8.

Agrupación de datos de nitrógeno total por prueba de Fisher.

Punto muestreo	N*	Media (mgN/L)	s** (mgN/L)	Agrupación
I4	5	3.94	0.93	A
I6	5	3.84	0.82	A
I5	5	3.66	1.24	A
I2	5	2.12	0.45	B
I3	5	1.48	0.55	B C
I1	5	1.01	1.24	C
N2	5	0.85	0.17	C
N1	4	0.43	0.29	C

*N: Número de muestras analizadas, **s: desviación estándar de la muestra

4.3.2. Nitratos

Como es posible observar en la Tabla 9 y en la Figura 10-A, la concentración máxima promedio para este parámetro se presentó en el punto I4 con un valor promedio de 2.77 mgNO₃⁻-N/L y la mínima se presentó en la naciente de la unidad intervenida con un valor de 0.11 mgNO₃⁻-N/L.

Los resultados de nitratos en el agua superficial muestran que los puntos I1, N1 y N2 presentan las menores concentraciones (ver Tabla 9) debido a que estos puntos se encuentran en zonas no intervenidas por actividad agropecuaria. En el punto I2 existe un aumento de hasta 9 veces en las concentraciones de nitrato respecto al punto I1 con valores promedio de 0.11 mgNO₃⁻-N/L y 0.99 mgNO₃⁻-N/L respectivamente, al existir varios cultivos entre estos puntos,

este aumento puede estar asociado principalmente al uso de fertilizantes nitrogenados que no son absorbidos por el cultivo y son trasladados por la escorrentía hasta las fuentes de agua. Para el punto I3, al igual que con el nitrógeno total existe una disminución en las concentraciones de nitrato causada por el aporte del caudal del punto N2 a este. En el punto I4 se registró el valor promedio máximo entre todos los puntos con un valor de $2.77 \text{ mgNO}_3^- \text{-N/L}$ lo cual está atribuido a los cultivos de papa y cebolla encontrados aguas arriba en la finca F2. De igual forma que en el análisis de nitrógeno total, en los puntos I5 e I6 existe una dilución en la concentración de nitratos debido a los demás afluentes no contemplados en este estudio que aportan caudal.

En cuanto a estudios anteriores realizados en la misma unidad hidrográfica (Gómez & Quintero, 2020), es posible evidenciar que los valores promedio de nitratos en el agua se mantuvieron estables en la mayoría de los puntos (ver Tabla 8) sin importar la época de estudio, lo cual indica que existe un aporte constante de nutrientes a las fuentes hídricas por parte de los cultivos que es compensado durante ambas épocas por la baja capacidad de dilución de los cauces en época seca y el aumento en el fenómeno de pérdida de nutrientes por escorrentía que ocurre en época de lluvias. También es posible observar que los niveles de nitratos en los nacimientos aumentaron considerablemente, esto puede deberse a un aumento en la descomposición de vegetación dentro del cauce en época de lluvias.

Tabla 9.

Comparación de concentraciones de nitrato con los registrados en un estudio anterior en época seca.

Punto	Valores de media y desviación estándar registrados para nitratos (mgNO ₃ ⁻ -N/L)			
	Época seca (febrero 2020)		Época lluviosa (septiembre – octubre 2021)	
	Media	s ^{**}	Media	s ^{**}
I1	0	0	0.11	0.07
I2	1.40	0.27	0.99	0.19
N1	0.02	0.01	0.20	0.04
N2	0.20	0.02	0.28	0.04
I3	0.58	0.20	0.55	0.11
I4*	--	--	2.77	0.70
I5	--	--	2.54	0.60
I6	2.56	0.11	2.36	0.55

*Los puntos 4 y 5 son puntos no evaluados anteriormente

**s: desviación estándar de la muestra

Igualmente, en la Tabla 10 se presentan resultados de estudios internacionales similares que evalúan las concentraciones de nitratos en el agua superficial, en estos es posible observar que se presentan mayores concentraciones en zonas con alta intervención agrícola exceptuando el estudio 1 en donde, como ya se mencionó anteriormente, existe una pendiente pronunciada en la cuenta sin intervención agropecuaria que podría facilitar el transporte de nutrientes y material vegetal hasta las fuentes de agua superficial durante los eventos de precipitación, y en el estudio 3 realizado en Chile que a pesar de presentar una gran cantidad de cultivos presenta valores

cercanos a los resultados de este estudio, lo que puede deberse al hecho de que las zonas agrícolas intervenidas de esta cuenca cuentan con cultivos para exportación de productos que pueden ser controlados más eficientemente optimizando la absorción de nutrientes por parte de los cultivos a comparación de las prácticas artesanales típicas de la zona de estudio.

Adicional a esto, el estudio realizado en el Cauca (4) resulta importante para contrastar resultados puesto que, al ser realizado también en una zona montañosa del país con pocas actividades agrícolas de tipo artesanal, resulta bastante similar y esto se ve reflejado en los niveles de nitratos obtenidos en ambos estudios, los cuales indican que existe un claro impacto producido por dichas prácticas en algunas zonas estratégicas del país por lo que deben ser evaluadas y optimizadas para evitar afectaciones a futuro en los ecosistemas.

Tabla 10.

Concentraciones de nitratos encontrados en estudios internacionales similares.

No.	Lugar de estudio	Uso del suelo	Temporada	Nitratos (mgNO ₃ -N/L)			Área (ha)	Referencia
				Media	Mínimo	Máximo		
1	Cuenca río Geum Daegokchon, Corea	Bosque (99.5%)	Lluviosa/seca	0.72	0.26	2.8	338	(Kim et al., 2007)
		Bosque (94.2%)		0.52	0.03	0.99	285	
		Cultivos (2.5%)		1.39	0.1	2.2	497	
		Bosque (82.3%)		2.48	0.3	8.1	2737	
		Cultivos (14.8%)						
2	Lago Doam Soncheo, Corea	Bosque y pastizales (55.9%)	Seca	-	1.92	4.96	11910	(Kwak, Sungjin, Bal Dev Bhatrai, Eunjung Kim, Changkeun Lee & Heo, 2012)
		Cultivos (35.3%)						
			Lluviosa	-	0.026	8.42		

No.	Lugar de estudio	Uso del suelo	Temporada	Nitratos (mgNO_3^- -N/L)			Área (ha)	Referencia
				Media	Mínimo	Máximo		
3	Cuenca río Aconcagua Valparaiso, Chile	Agricultura mixta para exportación (70%)	Lluviosa/seca	1.016	0.282	2.273	-	(Salgado & Flügel, 2008)
4	Río Las Piedras Cauca, Colombia	Bosque (27%) Cultivos (3%) Pastizales (52%)	Lluviosa/seca	-	0.6	3.47	6626	(Uribe et al., 2018)
5	Río Geum Corea	Bosque y cultivos	Lluviosa	0.655	0.127	2.927	15.1	(Yoon et al., 2010)

Finalmente, en la Tabla 11 es posible observar que existe similitud en términos estadísticos entre los puntos I4 e I5 con valores promedio de 2.77 y 2.54 mgNO_3^- -N/L respectivamente, esto debido a la influencia de la actividad agrícola que existe aguas arriba de estos dos puntos en la finca F2. De igual forma, los puntos N2 y N1 se comportan significativamente igual ya que ambos hacen parte de la unidad hidrográfica no intervenida donde la contaminación existente es mínima. Los demás puntos presentan diferencias estadísticas entre sí debido a factores como la ubicación geográfica y la actividad agropecuaria a sus alrededores. Esto indica que existe variación espacial en las concentraciones de nitratos a medida que el cauce atraviesa zonas intervenidas por actividades agropecuarias.

Tabla 11.*Agrupación de datos de nitratos por prueba de Dunn*

Punto	N	Media (mgNO ₃ ⁻ -N/L)	s ^{**} (mgNO ₃ ⁻ -N/L)	Agrupación		
I4	5	2.77	0.7	A		
I5	5	2.54	0.6	A		
I6	5	2.36	0.55	A	B	
I2	5	0.99	0.19	A	B	C
I3	5	0.55	0.11		B	C D
N2	5	0.28	0.04		C	D
N1	4	0.2	0.04		C	D
I1	5	0.11	0.07			D

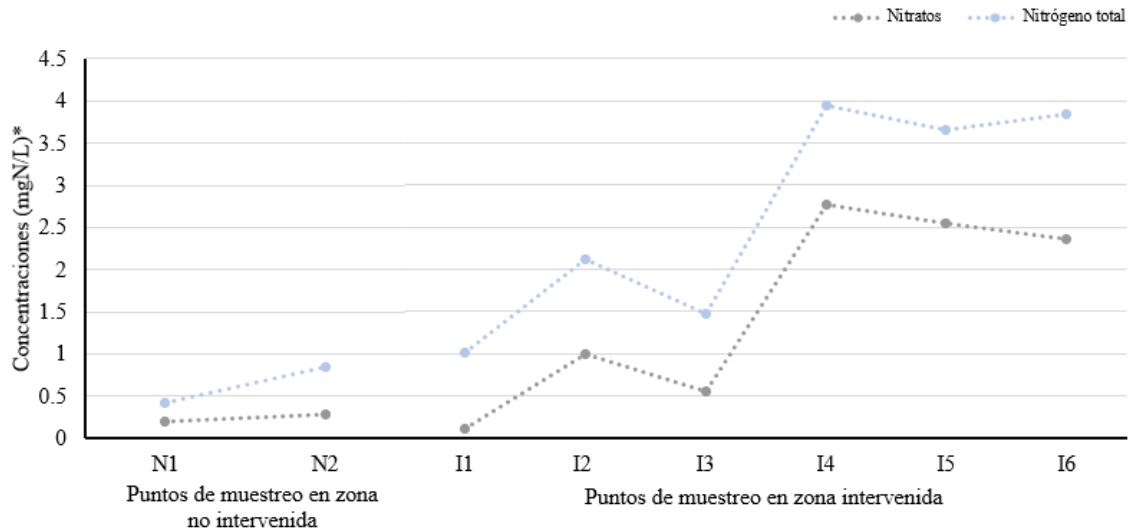
*N: Número de muestras analizadas, **s: desviación estándar de la muestra

4.3.3. Relación entre los niveles de nitrógeno total y nitratos en el agua superficial

Es sabido que los valores del nitrógeno total (NT) se ven afectados por las diferentes formas de nitrógeno (nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico) (Florencia et al., 2019) y en este estudio se evidenció que existe una relación directa entre los niveles de nitratos (NO₃⁻) y nitrógeno total (NT) (ver Figura 11) pues ambos aumentan de manera proporcional en los puntos medidos durante el periodo de muestreo. De igual forma, se evidencia que los nitratos aumentan su contribución en la carga de nitrógeno total a medida que el cauce avanza por puntos intervenidos por actividades agrícolas puesto que la relación NO₃⁻/NT es menor en zonas con poca o nula actividad, lo cual indica que en estos puntos predominan en el agua superficial otras formas de nitrógeno como lo son el nitrógeno orgánico y el nitrógeno amoniacal.

Figura 11.

Relación entre las concentraciones de nitrógeno total (NT) y nitratos (NO₃⁻).



*Las unidades para cada parámetro corresponden a mgNO₃⁻-N/L para nitratos y mgN/L para nitrógeno total.

4.4. Normativa aplicable

Los parámetros de pH con un máximo promedio de 7.56 medido en el punto I2, conductividad eléctrica con un máximo promedio de 62.52 μ S/cm medido en el punto I4 y nitratos con un máximo promedio de 2.77 (mgNO₃⁻-N/L) medido en el punto I4, según normativas de países de América Latina como Colombia (Ministerio de Protección Social Medio Ambiente y Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007), Perú (Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Para Agua, 2017) y Ecuador (Reforma Al Libro IX Del Texto Unificado de Legislación Secundaria Del Ministerio de Ambiente, 2015) y recomendaciones internacionales como la de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Organización mundial de la salud (OMS), 1984) (ver Apéndice F), cumplen satisfactoriamente los límites establecidos para categorías de consumo

humano, extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos y lagunas, riego de cultivos y bebida de animales. Sin embargo, en el caso de las categorías de conservación del ambiente acuático, el nivel de nitratos medido en el agua superficial de la unidad hidrográfica de estudio es muy cercano al límite establecido lo que indica un alto grado de contaminación que podría generar graves afectaciones al ecosistema a medida que aumenten las actividades agropecuarias existentes en la zona. Adicional a esto, según el Texas AgriLife Extension Service, los valores de conductividad eléctrica medidos en campo pueden ser calificados como excelentes para actividades como el riego (Texas agricultural extensionService, 1996)

5. Conclusiones

En este estudio fue posible evidenciar que las prácticas agrícolas presentes en la zona siguen procesos típicos de siembra a pequeña escala, realizando actividades estándares de riego, fertilización y fumigación. Se observó que la principal actividad económica del sector es el cultivo de cebolla larga y que a pesar de que existe la presencia de animales como bovinos y ovinos, estos son criados principalmente para el autoconsumo de los habitantes de las fincas del sector.

También se observó el impacto de las actividades agropecuarias en la presencia de nitrógeno total y nitratos en el agua superficial de una unidad hidrográfica en el páramo de Berlín (Santander, Colombia), es evidente que, aunque estas actividades no poseen una gran extensión dentro del área estudiada, su presencia implica un impacto que podría comprometer el equilibrio del ecosistema a futuro a medida que las zonas cultivadas se expanden en el sector.

En cuanto a los parámetros estudiados, se encontró que los niveles medidos presentan variabilidad espacial, siendo más altos para los parámetros de nitrógeno total, nitratos y conductividad eléctrica en los puntos de muestreo que se encuentran dentro de zonas altamente intervenidas por actividades agropecuaria, para el parámetro de pH se evidenciaron niveles menores en dichos puntos. Es posible que los niveles de nitratos y nitrógeno total registrados en zonas aledañas a cultivos estén principalmente relacionados con el uso de fertilizantes orgánicos (pollinaza) que son transportados a los cuerpos de agua mediante la escorrentía producto de las precipitaciones y el riego.

Finalmente, si bien los niveles de nitratos y nitrógeno total presentes en el agua cumplen con los estándares de calidad para consumo humano, el aumento de las actividades agropecuarias a mediano y largo plazo puede generar afectaciones al ecosistema por lo que es importante continuar con el monitoreo de dichos parámetros e implementar planes de manejo que permitan prevenir controlar y mitigar daños ambientales que afecten el ecosistema y la calidad de vida de los habitantes de la zona, así como prácticas agrícolas sostenibles que incluyan estudios de caracterización del suelo, además de planes de fertilización y riego que permitan el desarrollo económico y social de la región sin comprometer su biodiversidad.

Referencias bibliográficas

- AGROFERT. (2022a). *BULLTERR-K Agrofert*. <https://www.agrofy.com.co/bullterr-k-agrofert.html>
- AGROFERT. (2022b). *Nutrifos-K Agrofert*. <https://www.agrofy.com.co/nutrifos-k-agrofert.html>
- Alfaro, M., & Salazar, F. (2005). Ganadería y Contaminación Difusa, Implicancias para el Sur de Chile. *Agric. Téc.*, v.65 n.3. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0365-28072005000300012&script=sci_arttext
- APHA-AWWA-WEF. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23.
- Avila, J., Reinoso, P., & Zambrano, S. (2013). *Contaminación difusa producida por actividades agrícolas*. 152–159. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30006?mode=full%0Ahttp://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30006/1/176-647-1-PB.pdf>
- Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79(1), 53–72. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.002>
- Canatário, A. F. (2006). Contaminación difusa originada por la actividad agrícola de riego, a la escala de la cuenca hidrográfica. *Departamento de Agronomía, Tesis Doct*, 192. <https://repositorio.ipcb.pt/handle/10400.11/500>
- Chena, W., Noverc, D., Xia, Y., Zhang, G., Yen, H., & Heb, B. (2021). Assessment of extrinsic and intrinsic influences on water quality variation in subtropical agricultural multipond systems. *Environmental Pollution*.

- CORPOICA Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. (2012). *Manual de la cebolla en rama*.
- Departamento de Servicios de Salud de California. (2006). *Posibles Efectos en la Salud Relacionados con Nitratos y Nitritos en Agua de Pozos Privados*.
- Erisman, J. W., Galloway, J., Dise, N., Bleeker, A., Grizzetti, B., Leach, A., & Vries, W. (2015). *Nitrogen, too much of a vital resource*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3664.8163>
- FAO, & IWMI. (2018). *More people, more food, worse water? a global review of water pollution from agriculture*. <http://www.fao.org/3/CA0146EN/ca0146en.pdf>
- Ferrier, R. C., D'Arcy, B. J., MacDonald, J., & Aitken, M. (2005). Diffuse pollution - what is the nature of the problem? *Water and Environment Journal*, 19(4), 361–366. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2005.tb00574.x>
- Florencia, M., Plasencia, A., Corbella, R. D., Andina, D., Sanzano, A., Sosa, F. A., & Fernández de Ullivari, J. (2019). El nitrógeno del suelo. *Edafologia.Org*, 1–11. <https://www.edafologia.org/app/download/7953478176/El+nitrogeno+del+suelo+2019.pdf?t=1563476239>
- Gómez, V., & Quintero, J. (2020). *Análisis del efecto de las actividades agrícolas sobre la calidad del agua superficial en el páramo de Berlín (Santander- Colombia)*.
- González, O. (2020). *¿Cuál es el costo real de aplicar Pollinaza y Gallinaza Cruda?* <https://www.abonamos.com/blog/2020/3/12/cul-es-el-costo-real-de-aplicar-pollinaza-y-gallinaza-cruda>
- Hatch Company. (2000). *Manual de analisis de agua*. 3.
- Hofstede, R., Segarra, P., & Mena, P. (2003). *038_Hofstede et al. (eds).2003.Los Paramos del Mundo.pdf* (p. 300).

- Hu, H., & Huang, G. (2014). Monitoring of non-point source pollutions from an agriculture watershed in South China. *Water (Switzerland)*, 6(12), 3828–3840. <https://doi.org/10.3390/w6123828>
- IDEAM. (2011). *Promedios climatológicos 1981-2010*. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima/clima>
- INIA Instituto de Investigaciones Agropecuarias. (2017). Manual de producción de cebolla. *Boletín INIA*, 380.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humbolt. (2014). *Aportes a la delimitación del páramo mediante la identificación de los límites inferiores del ecosistema a escala 1:25.000 y análisis del sistema social asociado al territorio: Complejo de Páramos Jurisdicciones – Santurbán – Berlín Departamentos de Santa*.
- INTAGRI. (2022). *Fertilización Nitrogenada en el Cultivo de Cebolla*. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/fertilizacion-nitrogenada-en-el-cultivo-de-cebolla>
- J.Sheskin, D. (2000). *Handbook of PARAMETRIC and NONPARAMETRIC STATISTICAL PROCEDURES* (2nd ed.).
- Kim, G., Chung, S., & Lee, C. (2007). Water quality of runoff from agricultural-forestry watersheds in the Geum River Basin, Korea. *Environmental Monitoring and Assessment*, 134(1–3), 441–452. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9635-0>
- Kwak, Sungjin, Bal Dev Bhattarai, Eunjung Kim, Changkeun Lee, H. L., & Heo, and W. (2012). Characteristics of Non-point Pollution Discharge on Stormwater Runoff from Lake Doam Watershed. *Korean Journal of Limnology*.
- Larrota_Ballesteros, J. (2020). *Revisión sistemática de literatura sobre el efecto de la*

agricultura en la calidad del agua superficial en ecosistemas de alta montaña.

Lopez, I., Avellaneda, M., Paez, L., Tarazona, R., & Tachak, M. (2012). *ESTUDIO PARAMO SANTURBAN*. Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB.

https://santurban.minambiente.gov.co/images/Pdf_santurban/antecedentes/1.-Parte-Doc1-Entorno-Regional_Santurban.pdf

Luteyn, J. L., Churchill, S., Griffim, D., Gradstein, S., Sipman, H., & Gavilanes, A. (1999). *Páramos. A checklist of plant diversity, geographical distribution, and botanical literature.*

Microfertisa. (2022). *MF FRUTOKA*.

MINAMBIENTE. (2001). *Programa para el manejo sostenible y restauración de ecosistemas de alta montaña: paramos.*

<https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/410-plantilla-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistematicos-12>

MINAMBIENTE. (2022). *Páramos*. <https://www.minambiente.gov.co/direccion-de-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemicos/paramos/>

Reforma al libro IX del texto unificado de legislación secundaria del Ministerio de ambiente, (2015).

Ministerio de Protección Social Medio Ambiente y Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). *Resolucion 2115*.

Estandares de calidad ambiental (ECA) para agua, (2017).

Monomeros Colombo Venezolanos S.A. (1998). *Fertilización de cultivos en clima frío* (R. Guerrero_Riascos (ed.)). <http://www.monomeros.com/descargas/dpmanualfrio.pdf>

Organización mundial de la salud (OMS). (1984). WHO guidelines for drinking- water quality.

WHO Chronicle, 38(3), 104–108.

PROAIN. (2020). *LA FERTILIZACIÓN DE LA CEBOLLA*. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/la-fertilizacion-de-la-cebolla>

Rangel-Ch, O. (2000). Colombia Diversidad Biótica III La región de vida paramuna. *Igarss* 2014, 1, 1–5.

Restrepo, J., Suárez, C. A., & Álvarez, M. Y. (2008). Plan integral de manejo del Distrito de Manejo Integrado de los recursos naturales “Páramo de Berlín.” *Corporación Autónoma Regional Para La Defensa De La Meseta De Bucaramanga.*, 103.

Reza, A., Eum, J., Jung, S., Choi, Y., Owen, J. S., & Kim, B. (2016). Export of non-point source suspended sediment, nitrogen, and phosphorus from sloping highland agricultural fields in the East Asian monsoon region. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(12). <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5681-9>

Ruiz-Orozco, F. (2009). *Urkukuna: Los páramos*.

Salamanca-Castillo, G.-F. (2020). *EFECTO DE LOS AGROQUÍMICOS EN SALUD PÚBLICA Y MEDIO AMBIENTE*.

Salgado, E., & Flügel, W. A. (2008). Nitrate pollution of surface water induced by agricultural non-point pollution in the Pochay watershed, Chile. *Desalination*, 226(1–3), 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.232>

Sutton, M. A., Bleeker, A., Howard, C. M., Bekunda, M., Grizzetti, B., de Vries, W., Van Grinsven, H. J. M., Abrol, Y. P., Adhya, T. K., Billen, G., Davidson, E. ., Datta, A., Diaz, R., Erisman, J. W., Liu, X. J., Oenema, O., Palm, C., Raghuram, N., Reis, S., ... Zhang, F. S. (2013). *Our Nutrient World: The challenge to produce more food and energy with less pollution*. Global Overview of Nutrient Management. Centre for Ecology and Hydrology,

Edinburgh on behalf of the Global Partnership on Nutrient Management and the International Nitrogen Initiative.

Texas agricultural extensionService. (1996). *Irrigation Water Quality Standards*.

UNESCO. (2009). *Water in a changing world: the United Nations world water development report* 3. <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/wwdr3-2009/downloads-wwdr3>

Universidad Santiago de Compostela. (2011). *Gestión de residuos orgánicos de uso agrícola* (Issue January 2011).

Uribe., N., Srinivasan, R., Corzo, G., Arango, D., & Solomatine, D. (2020). spatio-temporal critical source area patterns of runoff pollution from agricultural practices in the Colombian Andes. *Ecological Engineering*.

Uribe, Corzo, Quintero, Griensven, V., & Solomatine. (2018). Impact of conservation tillage on nitrogen and phosphorus runoff losses in a potato crop system in Fuquene watershed, Colombia. *Agricultural Water Management*, 209(February), 62–72. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.006>

Uuemaa, E., Palliser, C. C., Hughes, A. O., & Tanner, C. C. (2018). Effectiveness of a Natural Headwater Wetland for Reducing Agricultural Nitrogen Loads. *Water*.

Wang, L., Zhao, X., Gao, J., R.Butterly, C., Chen, Q., Liu, M., Yang, Y., Xia, Y., & Xiao, X. (2019). Effects of fertilizer types on nitrogen and phosphorous loss from rice-wheat rotation system in the Taihu Lake region of China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*.

Wang, Y., Lia, Y., Liu, F., Lia, Y., Song, L., Li, H., Menga, C., & Wu, J. (2014). Linking rice agriculture to nutrient chemical composition, concentration and mass flux in catchment streams in subtropical central China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*.

Yoon, S. W., Chung, S. W., Oh, D. G., & Lee, J. W. (2010). Monitoring of non-point source pollutants load from a mixed forest land use. *Journal of Environmental Sciences*, 22(6), 801–805. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60180-7](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60180-7)

Apéndices

Apéndice A.

Revisión bibliográfica de artículos relacionados con el tema de estudio

DOI	Título	Año	No de citas	País de estudio	Autores	Revista de publicación	Área de estudio	Variables estudiadas	Métodos de análisis
10.3390/w10030287	Effectiveness of a Natural Headwater Wetland for Reducing Agricultural Nitrogen Loads	2018	12	Nueva Zelanda	Evelyn Uemaa, Chris C. Palliser, Andrew O. Hughes, Chris C. Tanner	Water	Cuenca agrícola en Waikato, Nueva Zelanda	Nitritos (NO ₂ ⁻) Nitratos (NO ₃ ⁻) Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄ ⁺) Nitrógeno total (NT)	Se utilizó Kruskal-Wallis para detectar diferencias en las concentraciones medianas de contaminantes estacionales. La prueba U de Mann-Whitney se utilizó para comparar las concentraciones medias de contaminantes de la presa superior e inferior. Se adoptó un nivel de significancia de $p < 0.05$ en todas las pruebas.
10.1007/s10661-015-4919-2	Effects of maize cultivation on nitrogen and phosphorus loadings to drainage channels in Central Chile	2015	12	Chile	Fabio Corradini, Francisco Nájera, Manuel Casanova, Yasna Tapia, Ranvir Singh, Osvaldo Salazar	Environmental Monitoring and Assessment	Tres campos manejados con sistema de barbecho de maíz: El Maitén (20,7 ha), El Naranjal (14,9	pH Conductividad eléctrica (CE) Oxígeno disuelto Sólidos totales Nitrógeno total (NT) Fósforo total (PT) Nitratos (NO ₃ ⁻) Nitrógeno	La selección del número de componentes extraídos siguió el criterio de Kaiser, conservando así sólo los factores que presentan valores propios ≥ 1 .

DOI	Título	Año	No de citas	País de estudio	Autores	Revista de publicación	Área de estudio	Variables estudiadas	Métodos de análisis
							ha) y El Caleuche (4,2 ha) en Chile.	amoniacal (N-NH ₄ ⁺) Fosfato (PO ₄ ³⁻)	
10.2134/jeq2010.0168	Agroforestry buffers for nonpoint source pollution reductions from agricultural watersheds	2011	45	USA	Ranjith P. Udawatta, Harold E. Garrett, Robert Kallenbach	Journal of Environmental Quality	Seis cuencas hidrográficas en el valle central de Mississipi, Estados Unidos	Fósforo total (PT) Nitrógeno total (NT)	El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando SAS (SAS Institute, 1999). Las variables aleatorias, la escorrentía, la pérdida de sedimentos y la pérdida de nutrientes se analizaron como una gráfica dividida en el tiempo. Se declararon diferencias significativas a nivel de $\alpha = 0,05$ (SAS Institute, 1999).
10.23818/limn.28.16	The influence of land use on water quality and macroinvertebrate biotic indices in rivers within Castilla-La Mancha (Spain)	2009	15	España	Stefanie A. Kroll, Caliz Navarro Llacer, María de la Cruz Cano, Jorge de las Heras	Limnetica (Asociación Ibérica de Limnología AIL)	Ríos de Castilla-La Mancha, España.	Nitratos (NO ₃ ⁻) Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄ ⁺) Óxido nitroso (N ₂ O) Fosfato (PO ₄ ³⁻)	Se realizó un análisis de correlación de Spearman Rank. Se utilizó este análisis no paramétrico porque algunas de las variables no tenían una distribución normal. A continuación, se trazaron los puntos de la matriz de correlación utilizando un Análisis de Componentes Principales (Fry, 1999) para determinar la influencia de cada una de las variables sobre la calidad del punto de muestra.

DOI	Título	Año	No de citas	País de estudio	Autores	Revista de publicación	Área de estudio	Variables estudiadas	Métodos de análisis
									Estos análisis se realizaron utilizando el paquete XLSTAT 3.4 (Fahmy, 1998).
10.1007/s00267-019-01207-1	Assessment of Agriculture Pressures Impact on the Joumine River Water Quality Using the PEGASE Model	2019	1	China	Amira Boukari, Sihem Benabdallah, Etienne Everbecq, Pol Magermans, Aline Grard, Hamadi Habaieb & Jean-François Delière	Environmental Management	Cuenca del río Joumine, norte de Túnez	Nitrógeno total (NT) Nitratos (NO ₃ ⁻) Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄ ⁺) Oxígeno disuelto (DO) Demanda química de oxígeno (DQO)	Se realizó un mapa combinado autoorganizado (SOM) y un modelo lineal de efectos mixtos (LMEM) para relacionar la variación de la calidad del agua de los sistemas multiponderal
10.1016/j.envpol.2021.116689	Assessment of extrinsic and intrinsic influences on water quality variation in subtropical agricultural multipond systems	2021	1	China	Wenjun Chena, Daniel Noverc, Yongqiu Xia, Guangxin Zhang, Haw Yen, Bin Heb	Environmental Pollution	Humedales no inundables en regiones agrícolas del sur de China	Temperatura pH Conductividad eléctrica (CE) Salinidad Sólido disuelto total (SDT) Oxígeno disuelto (OD) Carbonato (CO ₃ ²⁻) Bicarbonato (HCO ₃ ⁻) Nivel de	Se probó la normalidad de las variables de respuesta (p = 0.05) usando la prueba de Ryan-Joiner (Nosakhare y Bright, 2017), y transformaciones logarítmicas para para cumplir con los supuestos de distribución normal. El LMEM, propuesto por Laird y Ware (1982), puede proporcionar una evaluación robusta y simultánea de las asociaciones entre variables de respuesta y gradientes ambientales

DOI	Título	Año	No de citas	País de estudio	Autores	Revista de publicación	Área de estudio	Variables estudiadas	Métodos de análisis
								cloruro (Cl ⁻) Sulfato (SO ₄ ²⁻) Nitrato (NO ₃ ⁻) Ortofosfato (PO ₄ ³⁻)	
10.1016/j.agee.2019.106605	Effects of fertilizer types on nitrogen and phosphorous loss from rice-wheat rotation system in the Taihu Lake region of China	2019	18	China	Lei Wang, Xu Zhao, Jixi Gao, Clayton R. Butterly, Qiuhui Chen, Mingqing Liu, Yuwen Yang, Yunguan Xia, Xingji Xiao	Agriculture, Ecosystems & Environment	Lago Tai, China	Nitrógeno total (NT) Nitratos (NO ₃ ⁻) Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄ ⁺) Óxido nitroso (N ₂ O) Fósforo total (PT) Fósforo disuelto (PD)	Se realizó un análisis de varianza unidireccional (ANOVA) para evaluar los tipos de fertilizantes en la concentración de N (P) en cada evento. En cada caso, se identificaron diferencias significativas entre medias utilizando una prueba de diferencia mínima significativa (LSD) (P = 0.05). El paquete de software SPSS 15.0 (SPSS, Chicago, IL, EE. UU.) se utilizó para estadísticas análisis.

DOI	Título	Año	No de citas	País de estudio	Autores	Revista de publicación	Área de estudio	Variables estudiadas	Métodos de análisis
10.1007/s10661-016-5681-9	Export of non-point source suspended sediment, nitrogen, and phosphorus from sloping highland agricultural fields in the East Asian monsoon region	2016	18	Corea del sur	Arif Reza, Jaesung Eum, Sungmin Jung, Youngsoon Choi, Jeffrey S Owen, Bomchul Kim	Environmental Monitoring and Assessment	Lago Soyang, Corea	Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄ ⁺) Nitrato (NO ₃ ⁻) Fósforo total (PT) Oxígeno disuelto (OD)	Se probaron las autocorrelaciones para las características de diferenciación de las variables de calidad del agua anteriores. Fue desarrollado un SOM (un algoritmo de red neuronal artificial que se puede utilizar para proyectar conjuntos de datos de alta dimensión en un mapa regular bidimensional proporcional al grado de similitud) para investigar los patrones espacio-temporales y se implementó un LMEM para vincular las variaciones de cada patrón identificado.
10.1016/j.jhydrol.2010.08.006	Fertilizer standards for controlling groundwater nitrate pollution from agriculture: El Salobral - Los Llanos case study, Spain	2010	52	España	S. Peña-Haro, C. Llopis-Albert, M. Pulido-Velazquez, D. Pulido-Velazquez	Journal of Hydrology	Acuífero El Salobral - Los Llanos Mancha Oriental, España	Nitrógeno total (NT) Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄ ⁺) Fosforo total (PT) Fósforo disuelto (DP)	Modelo MODFLOW (McDonald y Harbough, 1988).
10.1016/j.agee.2013.11.007	Linking rice agriculture to nutrient chemical composition, concentration and mass flux in catchment streams in	2014	42	China	Yi Wang, Yong Lia, Feng Liu, Yuyuan Lia, Lifang Song, Hang Li, Cen Menga,	Agriculture, Ecosystems & Environment	Un bosque y cinco cuencas agrícolas de arroz en una	Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄ ⁺) Nitratos (NO ₃ ⁻) Nitrógeno total (NT) Fósforo total	Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para comparar el diferencias entre las concentraciones de nutrientes $\alpha = 0.05$ durante el período de observación.

DOI	Título	Año	No de citas	País de estudio	Autores	Revista de publicación	Área de estudio	Variables estudiadas	Métodos de análisis
	subtropical central China				Jinshui Wu		cuenca típica de suelo rojo montañoso en la zona subtropical de China central	(PT) Fósforo disuelto (DP)	
10.1007/s10661-016-5323-2	Modeling the effect of land use/land cover on nitrogen, phosphorous and dissolved oxygen loads in the Velhas River using the concept of exclusive contribution area	2016	16	Brasil	Lília Maria de Oliveira, Philippe Maillard & Éber José de Andrade Pinto	Environmental Monitoring and Assessment	Cuenca del río Velhas, sureste de Brasil	Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄ ⁺) Nitrato (NO ₃ ⁻) Fósforo total (PT) Oxígeno disuelto (OD)	Se aplicaron modelos de regresión múltiple.
10.1016/j.agee.2020.107021	Riverine nitrogen export and its natural and anthropogenic determinants in a subtropical agricultural catchment	2020	2	China	Xinliang Liua, Yi Wang, Yong Li, Meihui Wang, Ji Liu, Liming Yin, Shuangmia o Zuo, Jinshui Wu	Agriculture, Ecosystems & Environment	Once cuencas agrícolas subtropicales de China	Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄ ⁺) Nitratos (NO ₃ ⁻) Nitrógeno total (NT)	Se aplicó el análisis de regresión lineal escalonada múltiple (MLR).

DOI	Título	Año	No de citas	País de estudio	Autores	Revista de publicación	Área de estudio	Variables estudiadas	Métodos de análisis
10.1007/s10661-016-5260-0	Spatial and temporal variations in non-point source losses of nitrogen and phosphorus in a small agricultural catchment in the Three Gorges Region	2016	31	China	Chenglong Chen, Ming Gao, Deti Xie & Jiupai Ni	Environmental Monitoring and Assessment	Pequeña cuenca agrícola en la región de las Tres Gargantas, China	Nitratos (NO ₃ ⁻) Nitrógeno total (NT) Fósforo total (PT)	Se utilizó el análisis de correlación parcial
https://doi.org/10.3390/w12041106	Spatiotemporal variations in nitrogen and phosphorus in a large man-made lake and their relationships with human activities	2020	2	China	Ligang Zhou, Xiangdong Wang, Xiaoming Zhang, Yang Zhao, Panpan Zhu, Xiang Zhao, and Xiaole Li	Water	Lago artificial Qiandao, China	Nitrógeno total (NT) Fósforo total (PT)	Análisis estadísticos, incluidos cálculos de valor promedio, ajuste lineal y no lineal, regresión, y cálculos de desviación estándar, se realizaron con el Programa Estadístico de Ciencias Sociales (SPSS 19.0).
https://doi.org/10.1007/s11356-018-3682-7	Statistical assessment of nonpoint source pollution in agricultural watersheds in the Lower Grand River watershed, MO, USA	2019	29	USA	Fadhil K. Jabbar & Katherine Grote	Environmental Science and Pollution Research volume	Cuenca del río Lower Grand, MO, EE. UU.	pH Conductividad eléctrica (CE) Oxígeno disuelto Nitratos (NO ₃ ⁻) Fosfato (PO ₄ ³⁻)	Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el método estadístico Paquete de software de Ciencias Sociales (SPSS). Los parámetros de calidad del agua se analizaron primero utilizando el método Cunnane de probabilidad para determinar si se distribuyeron normalmente en $\alpha = 0.01$. Algunos factores se distribuyeron

DOI	Título	Año	No de citas	País de estudio	Autores	Revista de publicación	Área de estudio	Variables estudiadas	Métodos de análisis
									normalmente sin ninguna transformación, pero otras requirieron transformación. Se probaron varias transformaciones (por ejemplo: logarítmica, natural log, raíz cuadrada y raíz cúbica) y se aplicó la transformación con el coeficiente de correlación más alto (R) (más cercano a la distribución normal) en todos los análisis posteriores.
https://doi.org/10.1007/s00267-019-01190-7	Using Spatially Targeted Conservation to Evaluate Nitrogen Reduction and Economic Opportunities for Best Management Practice Placement in Agricultural Landscapes	2019	9	EE.UU.	Emily K. Zimmerman, John C. Tyndall & Lisa A. Schulte	Environmental Management	Cinturón maicero, EE.UU.	Nitratos (NO ₃ ⁻)	(ACPF) es una herramienta de planificación basada en SIG

DOI	Título	Año	No de citas	País de estudio	Autores	Revista de publicación	Área de estudio	Variables estudiadas	Métodos de análisis
10.1016/j.ecolemg.2020.105810	Spatio-temporal critical source area patterns of runoff pollution from agricultural practices in the Colombian Andes	2020	6	Colombia	Natalia Uribe, Raghavan Srinivasan, Gerald Corzo, David Arango Dimitri Solomatine	Ecological Engineering	Lago Riogrande II, Colombia	Nitratos (NO ₃ ⁻) Fósforo soluble	Pruebas de análisis de varianza (ANOVA) utilizando el paquete R. Se realizó un análisis de datos de exploración multivariante con el fin de determinar la significancia (expresada en niveles de probabilidad: 1% (p <.01), 5% (p <.05), 10% (p <.10))
10.1016/j.agwat.2018.07.006	Impact of conservation tillage on nitrogen and phosphorus runoff losses in a potato crop system in Fuquene watershed, Colombia	2018	21	Colombia	Natalia Uribe, Gerald Corzo, Marcela Quintero, Ann van Griensven, Dimitri Solomatine	Agricultural Water Management	Laguna de Fúquene, Colombia	Nitrógeno total (NT) Fósforo total (PT)	Las predicciones a los valores observados se utilizaron para evaluar el desempeño de SWAT: índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE)

DOI	Título	Año	No de citas	País de estudio	Autores	Revista de publicación	Área de estudio	Variables estudiadas	Métodos de análisis
10.1016/j.desal.2007.01.232	Nitrate pollution of surface water induced by agricultural non-point pollution in the Pochay watershed, Chile	2008	39	Chile	L Ribbe, P Delgado, E Salgado, WA Flügel	Desalination	Arroyo Pochay y ubicado en la cuenca del Aconcagua en la región de Valparaíso, Chile.	Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄ ⁺) Nitratos (NO ₃ ⁻) Nitrógeno total (NT) Nitritos (NO ₂ ⁻)	Se calcularon las cargas de nitrógeno para cada seguimiento sobre la base de la concentración de nitrato y descarga. Se realizaron promedios mensuales y anuales de las cargas.
10.20937/RICA.2017.33.03.01	Effects of productive activities on the water quality for human consumption in an Andean basin, a case study,	2017	3	Colombia	Diana Ruiz, Juan Pablo Martínez, Juan Diego Otero, Apolinar Figueroa	Revista Internacional de Contaminación Ambiental - UNAM	Río "Las Piedras", Colombia	Fosfato (PO ₄ ³⁻) Nitratos (NO ₃ ⁻) pH	Análisis estadístico multivariable
10.1007/s10661-007-9635-0	Water quality of runoff from agricultural-forestry watersheds in the Geum River Basin, Korea	2007	19	Corea	Kim, G., Chung, S. & Lee, C.	Environ Monit Assess	Rio Geum	Sólidos suspendidos (SS) Demanda química de Oxígeno (DQO) Nitrógeno total (NT) Nitrógeno amoniacal (NH ₃ -N) Nitratos (NO ₃ ⁻)	Análisis de correlación de Pearson entre las variables que afectan y las cargas de contaminantes utilizando SPSS

DOI	Título	Año	No de citas	País de estudio	Autores	Revista de publicación	Área de estudio	Variables estudiadas	Métodos de análisis
								Fósforo total (PT) Fosfatos (PO4-P)	
	Characteristics of Non-point Pollution Discharge on Stormwater Runoff from Lake Doam Watershed	2016		Corea	Kwak, Sungjin, Bal Dev Bhatrai, Eunjung Kim, Changkeun Lee, Hyeongjin Lee Woomyung Heo	The Korean Journal of Ecology and Environment	Cuenca del lago Doam	Nitrógeno total (NT) Fósforo total (PT) Demanda química de Oxígeno (DQO) Solidos suspendidos (SS)	Análisis de correlación de Pearson
10.1016/S1001-0742(09)60180-7	Monitoring of non-point source pollutants load from a mixed forest land use	2010	30	Corea	Sung Wan Yoon, Se Woong Chung, Dong Geun Oh, Jae Woon Lee	Journal of environmental sciences	Rio Geum	Demanda biológica de Oxígeno (DBO) Demanda química de Oxígeno (DQO) Nitrógeno total (NT) Fósforo total (PT) Solidos suspendidos (SS)	Estadística descriptiva

DOI	Título	Año	No de citas	País de estudio	Autores	Revista de publicación	Área de estudio	Variables estudiadas	Métodos de análisis
10.3390/w6123828	Monitoring of non-point source pollutions from an agriculture watershed in South China	2014	19	China	Haiying Hu, Guoru Huang	Water	Río Tanjiang	Demanda biológica de Oxígeno (DBO) Demanda química de Oxígeno (DQO) Nitrógeno total (NT) Fósforo total (PT) Nitrógeno amoniacal (NH3-N)	Análisis de correlación de Pearson

Apéndice B.

Instrumento de recolección de información en campo: guía de observación

INFLUENCIA DE LAS ACTIVIDADES AGROPECUARIAS SOBRE EL CONTENIDO DE NITRÓGENO EN EL AGUA SUPERFICIAL DE UNA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL PÁRAMO DE BERLÍN (SANTANDER, COLOMBIA) Guía de observación en campo		
Fecha:		
Características del terreno		
Altitud (msnm)		
Pendiente (°) aprox.		
Sentido de la pendiente		
Cultivo		
Tipo de cultivo (papa, cebolla, otro)		
Variedad (papa pastusa, papa sabanera, otro)		
Ciclo de vida del cultivo		
No. Aprox. de hectáreas cultivadas		
Superficie de la unidad de producción (ha)		
Preparación del terreno		
Forma de preparación del terreno	Manual	
	Animal	
	Mecánica	
Frecuencia de arado (labranza primaria)		
Sentido del arado	Perpendicular a la pendiente del terreno	
	En el sentido de la pendiente del terreno	
¿Realizan rastra? (labranza secundaria)		
Frecuencia de pase de rastra		
¿Realiza encalado?		
Tipo de alcalinizante (cal, yeso, otro)	Cal	
	Yeso	
	Otro	
Dosis utilizada en el encalado (kg/ha)		
Frecuencia de encalado		
¿Se realiza la aplicación de fertilizante y/o cal con base a un análisis de suelo?		

INFLUENCIA DE LAS ACTIVIDADES AGROPECUARIAS SOBRE EL CONTENIDO DE NITRÓGENO EN EL AGUA SUPERFICIAL DE UNA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL PÁRAMO DE BERLÍN (SANTANDER, COLOMBIA) Guía de observación en campo		
Fertilización del suelo		
Tipo de fertilizante	Orgánico	
	Sintético	
Componentes del fertilizante	Compost	
	Estiércol	
	Turba	
	Pollinaza	
	Gallinaza	
	Triple 15	
	Urea	
	Formulación química (sintético)	
	Otro	
	Cantidad de fertilizante	
Frecuencia / etapa de crecimiento		
Riego del cultivo		
Tipo de riego	Por gravedad	
	Aspersión	
	Localizado	
	Subterráneo	
	Otro	
Frecuencia		
Duración		
Fuente del agua		

INFLUENCIA DE LAS ACTIVIDADES AGROPECUARIAS SOBRE EL CONTENIDO DE NITRÓGENO EN EL AGUA SUPERFICIAL DE UNA UNIDAD HIDROGRÁFICA DEL PÁRAMO DE BERLÍN (SANTANDER, COLOMBIA) Guía de observación en campo		
Manejo de plagas y enfermedades		
Tipo de plagas y enfermedades	Hongos	
	Microbios	
	Insectos	
	Roedores	
	Pájaros	
	Otros	
Tipo de control	Biológico	
	Químico	
	Físico	
Producto utilizado (principio activo)		
Etapa de aplicación		
Frecuencia		

Apéndice C.

Métodos de análisis de muestras en el laboratorio para los parámetros de nitrógeno total y nitratos

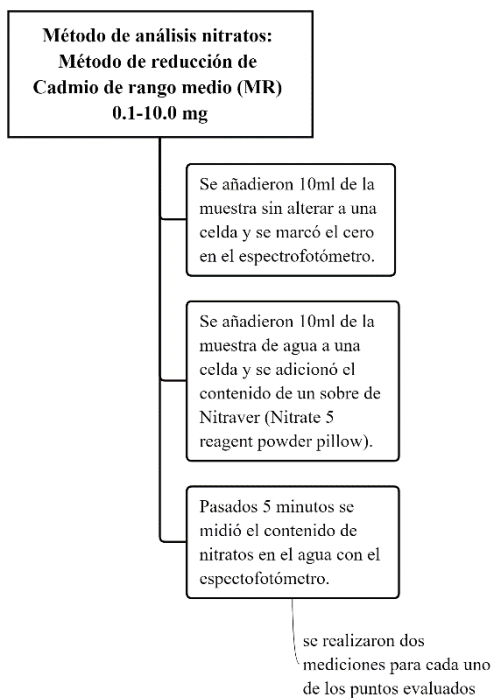


Figura 1. Procedimiento para el método de análisis de nitratos realizado en el laboratorio..(Hatch Company, 2014)

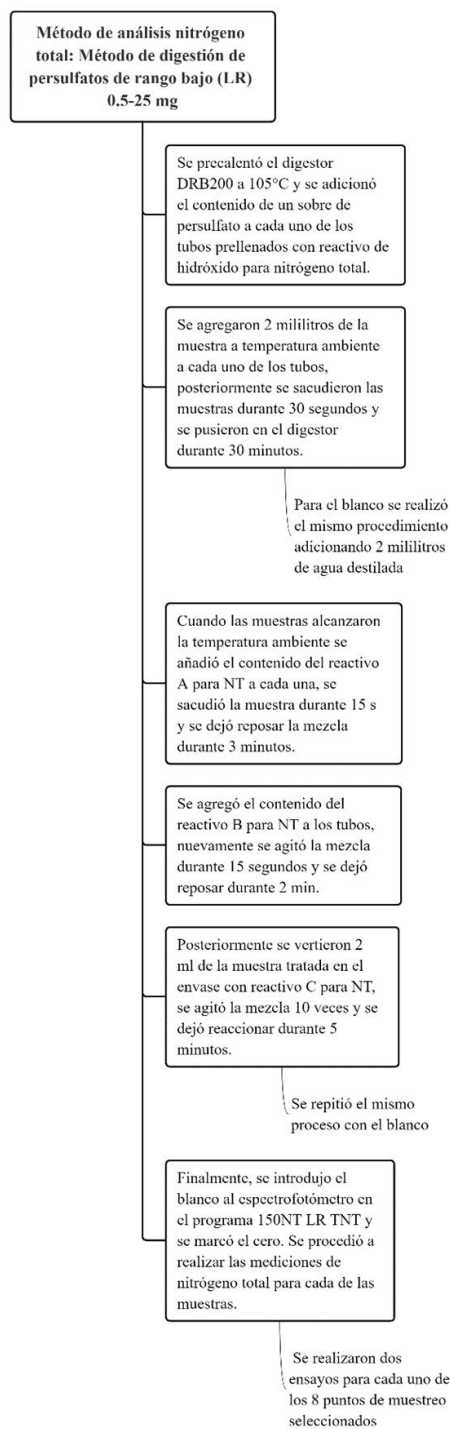


Figura 2. Procedimiento para el método de análisis de nitrógeno total realizado en el laboratorio.(Hatch Company, 2015)

Apéndice D.*Recopilación de datos e información relevante tomada durante la campaña de muestreo*

9/7/2021	I1	N1	N2	I2	I3	I4	I5	I6
Caudal (L/s)	2.78	0.34	2.78	0.83	5.46	9.54	18.62	62.85
pH	7.47	7.32	7.26	7.56	7.22	7.3	7.58	6.75
CE (mS/cm)*	33.07	34.37	39.87	52.03	35.27	67.13	61.93	64.87
T (°C)*	10.03	10.13	11.87	11.57	15.3	12.23	13.2	12.97
Nitrato (mgN- NO ₃ ⁻ /L)	0.15	0.15	0.3	1.2	0.4	3.03	2.35	2.3
N. Total (mgN/L)*	3.1	0.85	0.65	2.75	0.6	4.6	3.35	3

*CE: Conductividad eléctrica, T: Temperatura, N. Total: Nitrógeno total
Tabla 1. Datos obtenidos durante el primer día de la campaña de muestreo.

9/15/2021	I1	N1	N2	I2	I3	I4	I5	I6
Caudal (L/s)	2.71	0.42	2.65	3.76	7.22	4.3	28.2	28.1
pH	7.32	7.6	7.58	7.43	7.48	7.23	7.02	7.51
CE (mS/cm)*	29.3	34.13	35.15	42.75	35.8	72.53	71.75	68.03
T (°C)*	8.7	10.13	12.15	12.75	11.5	15.4	14.9	14.78
Nitrato (mgN- NO ₃ ⁻ /L)	0.1	0.2	0.3	1.1	0.65	3.4	2.85	2.8
N. Total (mgN/L)*	1.2	0.2	0.9	2.4	2	4.7	5.45	5.2

*CE: Conductividad eléctrica, T: Temperatura, N. Total: Nitrógeno total
Tabla 2. Datos obtenidos durante el segundo día de la campaña de muestreo

9/21/2021	I1	N1	N2	I2	I3	I4	I5	I6
Caudal (L/s)	3.61	0.41	3.8	4.22	8.98	8.8	39.8	71.6
pH	7.47	7.3	7.66	7.74	7.51	7.17	7.43	7.09
CE (mS/cm)*	37.47	31.4	36.2	37.37	31.03	56.2	56.93	46.8
T (°C)*	8.67	9.37	10.3	9.63	11.85	11.88	11.9	12.3
Nitrato (mgN- NO ₃ ⁻ /L)	0.1	0.2	0.2	0.75	0.5	2.35	2.25	1.45
N. Total (mgN/L)*	0.25	0.3	1.1	1.75	1.3	3.85	3.4	3.75

*CE: Conductividad eléctrica, T: Temperatura, N. Total: Nitrógeno total
Tabla 3. Datos obtenidos durante el tercer día de la campaña de muestreo.

9/28/2021	I1	N1	N2	I2	I3	I4	I5	I6
Caudal (L/s)	3.22	0.4	2.72	5.34	8.59	12.6	29.7	73.8
pH	7.65	7.27	7.57	7.56	7.53	7.05	7.12	7.14
CE (mS/cm)*	24.1	29.48	31.08	40.48	31.37	53.08	53.8	55.07
T (°C)*	8.97	10.38	11.48	11.45	10.13	13.3	13.6	11.83
Nitrato (mgN- NO ₃ ⁻ /L)	0	0.25	0.3	0.85	0.55	1.75	1.85	2.5
N. Total (mgN/L)*	0.15	0.35	0.85	2	1.75	2.4	2.05	3.6

*CE: Conductividad eléctrica, T: Temperatura, N. Total: Nitrógeno tota
Tabla 4. Datos obtenidos durante el cuarto día de la campaña de muestreo.

5/10/2021	I1	N1	N2	I2	I3	I4	I5	I6
Caudal (L/s)	3.63	-	2.69	3.4	8.09	6.4	32.8	42.2
pH	7.37	-	7.43	7.49	7.34	7.1	7.01	6.78
CE (mS/cm)*	22.87	-	54.23	52.53	31.3	63.68	67.55	60.2
T (°C)*	12.23	-	15.23	14.13	13.67	15.4	15.25	14.13
Nitrato (mgN- NO ₃ ⁻ /L)	0.2	-	0.3	1.05	0.65	3.3	3.4	2.75
N. Total (mgN/L)*	0.35	-	0.75	1.7	1.75	4.15	4.05	3.65

*CE: Conductividad eléctrica, T: Temperatura, N. Total: Nitrógeno total
Tabla 5. Datos obtenidos durante el quinto día de la campaña de muestreo.

A continuación, se presenta una tabla que contiene datos relevantes sobre cada uno de los días de muestro de la campaña y el día de reconocimiento inicial de la zona (día 0):

- Fecha
- Puntos de muestreo
- Observaciones sobre las condiciones climáticas del día y días anteriores al muestreo

Muestreo	Fecha	Puntos de muestreo	Observaciones
0	22/08/2021	-	Día soleado. Llovió la noche anterior.
1	7/09/2021	8	Día lluvioso. Llovió la noche anterior y durante toda la jornada de muestreo.
2	15/09/2021	8	Día soleado, no había llovido en 3 días.
3	21/09/2021	8	Día lluvioso, con precipitaciones intermitentes a lo largo del día intermitentemente Hubo eventos de lluvia los días anteriores.
4	28/09/2021	8	Día nublado, había llovido los días anteriores. Mañana nublada sin lluvias significativas. Se presentó un evento de precipitación considerable al final de la jornada de muestreo.
5	5/10/2021	7	Día soleado, no había llovido desde hace 3 o 4 días.

NOTA: En el último día de muestreo no fue posible tomar muestras en el nacimiento de la unidad no intervenida (N1) debido a que no se contó con el permiso de los actores locales.

Tabla 6. Observaciones tomadas en campo durante los días de muestreo.

Apéndice E.

Análisis estadístico de los datos obtenidos in situ y en el laboratorio

	Punto	Q (L/s)*	pH	CE (µS/m)*	NO ₃ ⁻ (mgN-NO ₃ ⁻ /L)*	NT (mgN/L)*
Media	I1	3.19	7.46	29.36	0.11	1.01
	N1	0.39	7.37	32.35	0.2	0.43
	N2	2.93	7.5	39.31	0.28	0.85
	I2	3.51	7.56	45.03	0.99	2.12
	I3	7.67	7.42	32.95	0.55	1.48
	I4	8.33	7.17	62.52	2.77	3.94
	I5	29.82	7.23	62.39	2.54	3.66
	I6	55.71	7.05	58.99	2.36	3.84
Desviación estándar	I1	0.44	0.13	6.11	0.07	1.24
	N1	0.04	0.15	2.34	0.04	0.29
	N2	0.49	0.16	8.91	0.04	0.17
	I2	1.67	0.12	6.89	0.19	0.45
	I3	1.4	0.13	2.37	0.11	0.55
	I4	3.16	0.1	7.93	0.7	0.93
	I5	7.69	0.26	7.38	0.6	1.24
	I6	19.85	0.31	8.39	0.55	0.82
Coeficiente de variación	I1	0.14	0.02	0.21	0.67	0.81
	N1	0.09	0.02	0.07	0.2	1.46
	N2	0.17	0.02	0.23	0.16	5.01
	I2	0.47	0.02	0.15	0.19	4.73
	I3	0.18	0.02	0.07	0.19	2.68
	I4	0.38	0.01	0.13	0.25	4.25
	I5	0.26	0.04	0.12	0.24	2.96
	I6	0.36	0.04	0.14	0.23	4.71

*Q: Caudal, CE: Conductividad eléctrica, NO₃⁻: Nitratos, NT: Nitrógeno total

Tabla 1. Medias, desviación estándar y coeficiente de variación obtenidos mediante estadística descriptiva para cada punto de muestreo.

- **Prueba de normalidad:**

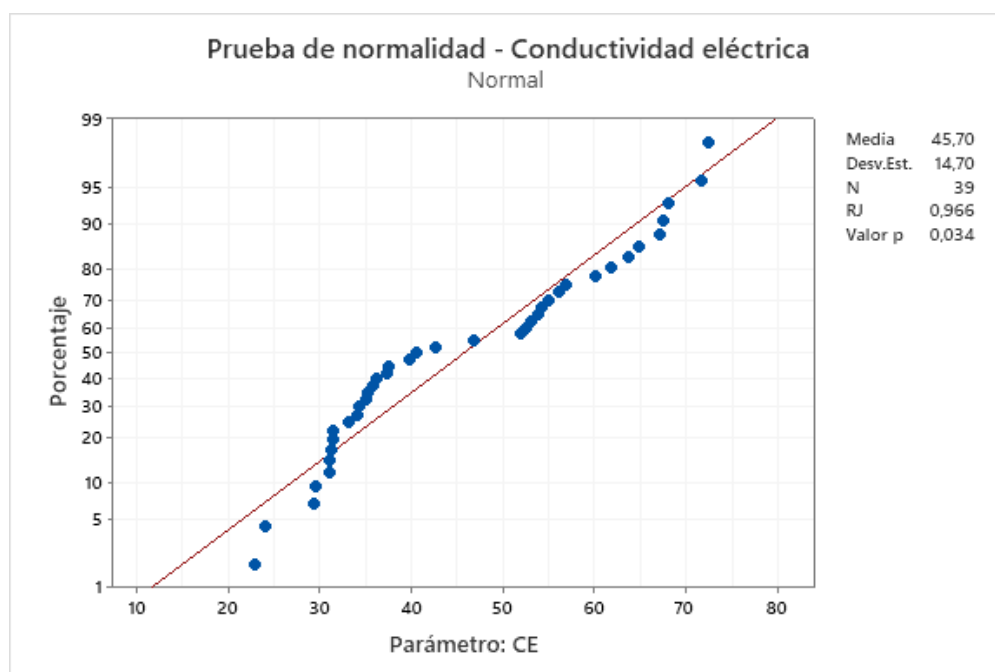


Figura 1. Resultados prueba de normalidad para datos de conductividad eléctrica.

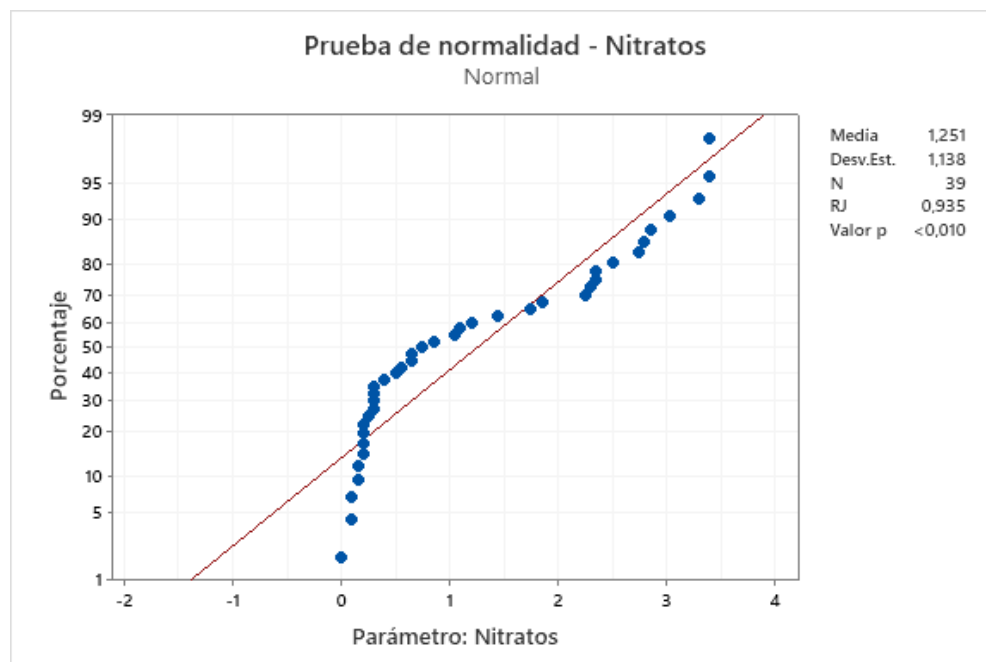


Figura 2. Resultados prueba de normalidad para datos de nitratos.

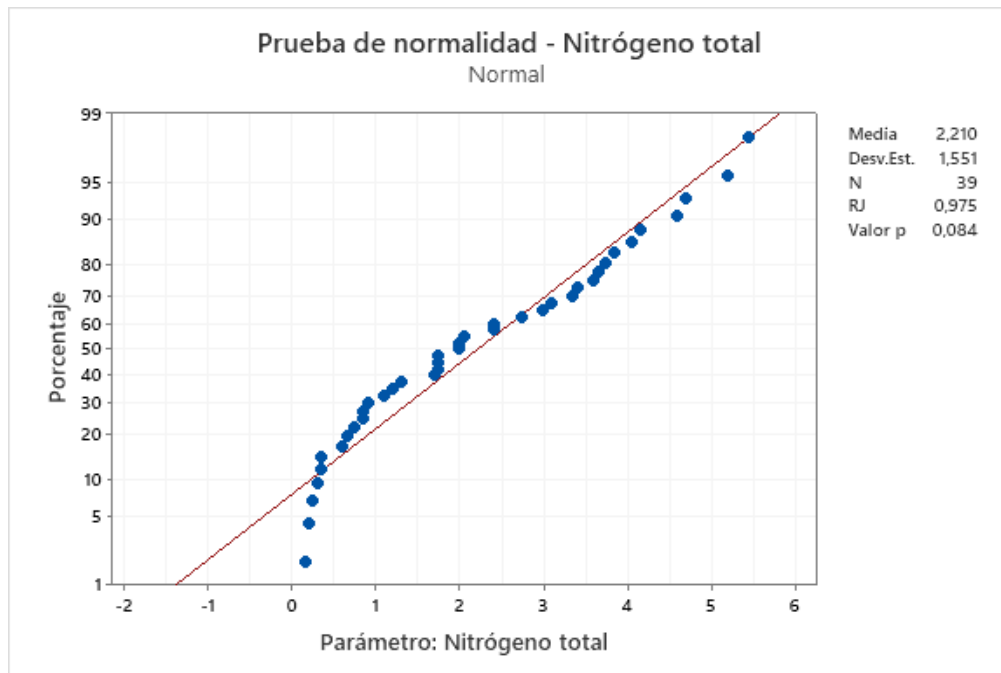


Figura 3. Resultados prueba de normalidad para datos de nitrógeno total.

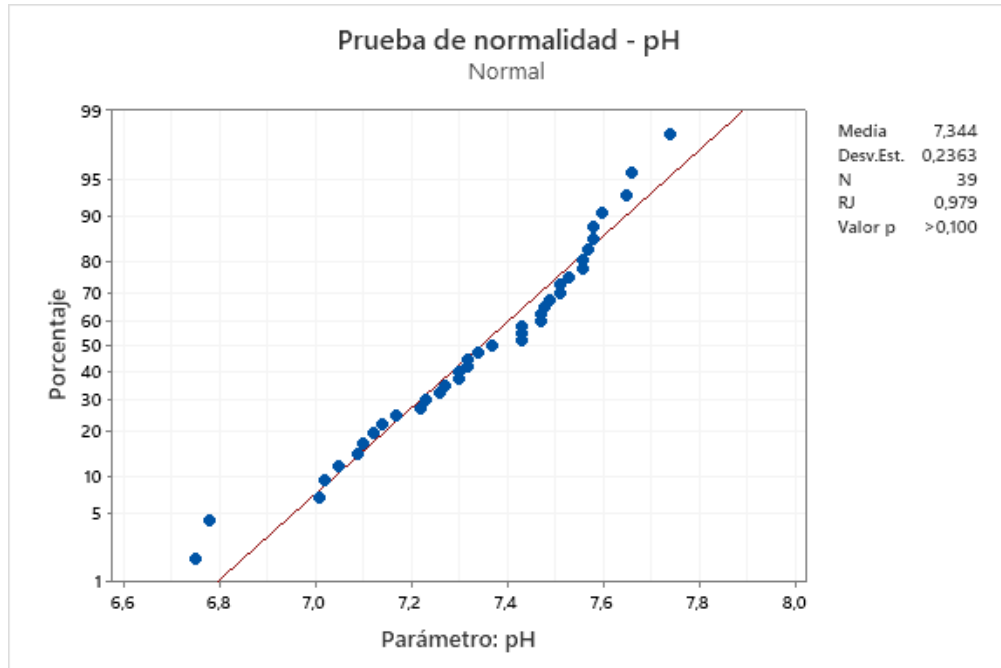


Figura 4. Resultados prueba de normalidad para datos de pH.

Como ya fue mencionado en la metodología del presente documento, se realizaron pruebas de normalidad y de homogeneidad de varianza para verificar a qué parámetros era posible aplicarles pruebas de varianza (ANOVA), los resultados de estas pruebas se muestran a continuación:

Parámetro	α^*	Valor p	Cumple normalidad
Conductividad eléctrica	0.01	0.034	Sí
pH	0.01	>0.1	Sí
Nitratos	0.01	<0.010	No
Nitrógeno total	0.01	0.084	Sí

* α : significancia

Tabla 2. Resultados obtenidos de la prueba de normalidad.

- **Prueba de homogeneidad de varianza:**

Parámetro	α^*	Valor p	Cumple homogeneidad de varianza
Conductividad eléctrica	0.01	0.235	Sí
pH	0.01	0.269	Sí
Nitratos	0.01	0.000	No
Nitrógeno total	0.01	0.015	Sí

* α : significancia

Tabla 3. Resultados obtenidos de la prueba de homogeneidad de varianza.

De lo anterior se concluyó que es posible realizar análisis de varianza (ANOVA) de un factor para los parámetros de pH, conductividad eléctrica y nitrógeno total. Sin embargo,

para el análisis de los nitratos, es necesario realizar una prueba no paramétrica por lo que se seleccionó Kruskal-Wallis para este parámetro.

Estos métodos de análisis fueron seleccionados puesto que se evidenció durante la revisión de literatura realizada que han sido aplicados en múltiples estudios con objetivos similares a esta investigación (Uemaa et al., 2018) (L. Wang et al., 2019) (Y. Wang et al., 2014) (Uribe. et al., 2020).

- **ANOVA + prueba *post-hoc* de Fisher:**

Nitrógeno total vs. Punto muestreo

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Punto muestreo	7	70,66	10,0942	15,08	0,000
Error	31	20,76	0,6696		
Total	38	91,42			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,818269	77,29%	72,17%	64,46%

Medias

Punto muestreo	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
I1	5	1,010	1,241	(0,264; 1,756)
I2	5	2,120	0,448	(1,374; 2,866)
I3	5	1,480	0,553	(0,734; 2,226)
I4	5	3,940	0,927	(3,194; 4,686)
I5	5	3,660	1,236	(2,914; 4,406)
I6	5	3,840	0,815	(3,094; 4,586)
N1	4	0,425	0,290	(-0,409; 1,259)
N2	5	0,8500	0,1696	(0,1037; 1,5963)

Desv.Est. agrupada = 0,818269

Comparaciones en parejas: utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Punto muestreo	N	Media	Agrupación	
I4	5	3,940	A	
I6	5	3,840	A	
I5	5	3,660	A	
I2	5	2,120	B	
I3	5	1,480	B	C

Punto muestreo	N	Media	Agrupación
I1	5	1,010	C
N2	5	0,8500	C
N1	4	0,425	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

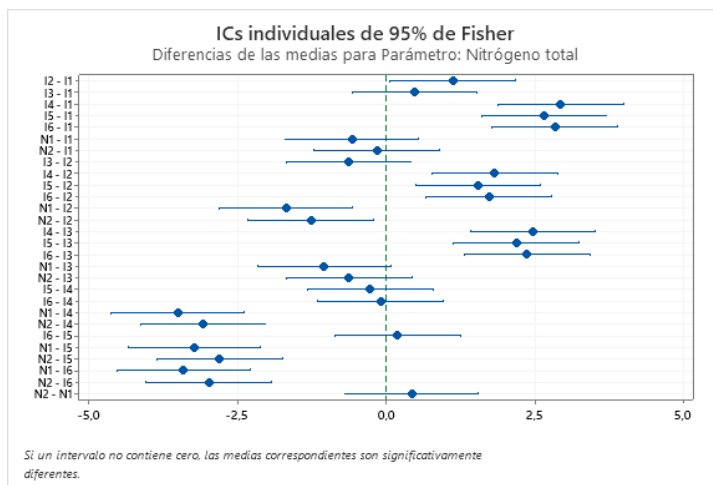


Figura 5. Diferencia de las medias para los datos de nitrógeno total.

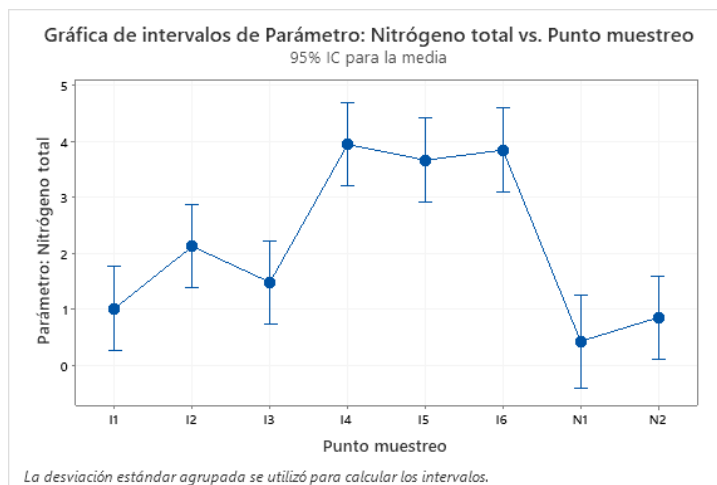


Figura 6. Gráfica de intervalos para los datos de nitrógeno total.

pH vs. Punto muestreo**Método**

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales
 Nivel de significancia de $\alpha = 0,05$

- *Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
		Ajust.	Ajust.		
Punto muestreo	7	1,073	0,15327	4,53	0,001
Error	31	1,049	0,03383		
Total	38	2,122			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,183939	50,57%	39,40%	22,05%

Medias

Punto muestreo	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
I1	5	7,4560	0,1264	(7,2882; 7,6238)
I2	5	7,5560	0,1163	(7,3882; 7,7238)
I3	5	7,4160	0,1324	(7,2482; 7,5838)
I4	5	7,1700	0,0997	(7,0022; 7,3378)
I5	5	7,232	0,258	(7,064; 7,400)
I6	5	7,054	0,310	(6,886; 7,222)
N1	4	7,3725	0,1531	(7,1849; 7,5601)
N2	5	7,5000	0,1576	(7,3322; 7,6678)

Desv.Est. agrupada = 0,183939

Comparaciones en parejas: utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Punto muestreo	N	Media	Agrupación		
I2	5	7,5560	A		
N2	5	7,5000	A		
I1	5	7,4560	B		
I3	5	7,4160	B		
N1	4	7,3725	B	C	
I5	5	7,232	B	C	D
I4	5	7,1700		C	D
I6	5	7,054			D

- Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

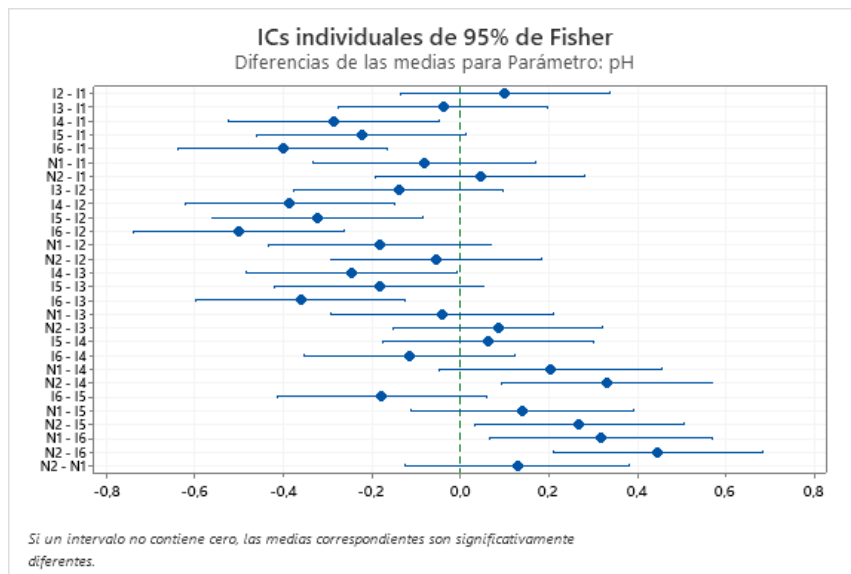


Figura 7. Diferencia de las medias para los datos de pH.

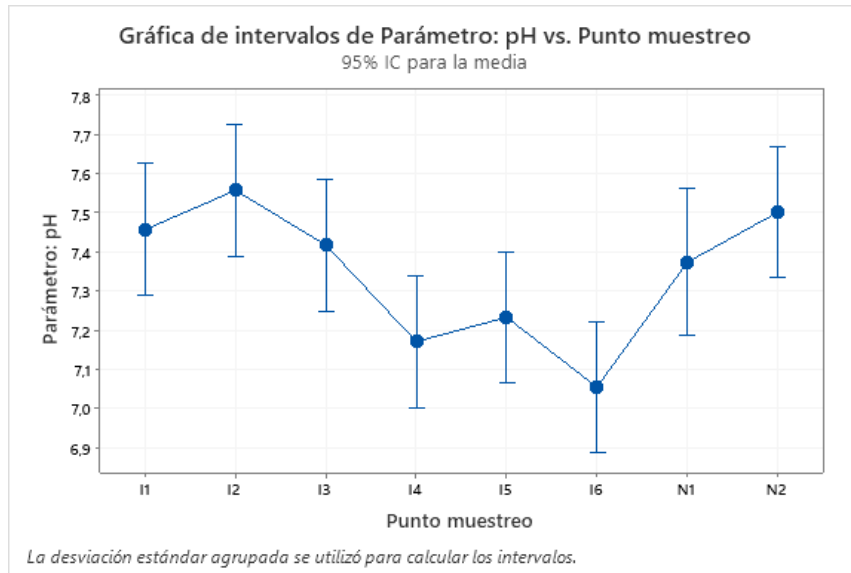


Figura 8. Gráfica de intervalos para los datos de pH.

CE vs. Punto muestreo

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales
 Nivel de significancia de $\alpha = 0,05$

- *Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Punto muestreo	7	6759	965,58	20,68	0,000
Error	31	1447	46,68		
Total	38	8206			

Resumen del modelo

		R-cuad.	R-cuad.
	S	R-cuad. (ajustado)	(pred)
	6,83257	82,36%	78,38% 72,40%

Medias

Punto muestreo	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
I1	5	29,36	6,11	(23,13; 35,59)
I2	5	45,03	6,89	(38,80; 51,26)
I3	5	32,95	2,37	(26,72; 39,19)
I4	5	62,52	7,93	(56,29; 68,76)
I5	5	62,39	7,38	(56,16; 68,62)
I6	5	58,99	8,39	(52,76; 65,23)
N1	4	32,34	2,34	(25,38; 39,31)
N2	5	39,31	8,91	(33,07; 45,54)

- *Desv.Est. agrupada = 6,83257*

Comparaciones en parejas: utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Punto muestreo	N	Media	Agrupación
I4	5	62,52	A
I5	5	62,39	A
I6	5	58,99	A
I2	5	45,03	B
N2	5	39,31	B C
I3	5	32,95	C D
N1	4	32,34	C D
I1	5	29,36	D

- *Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

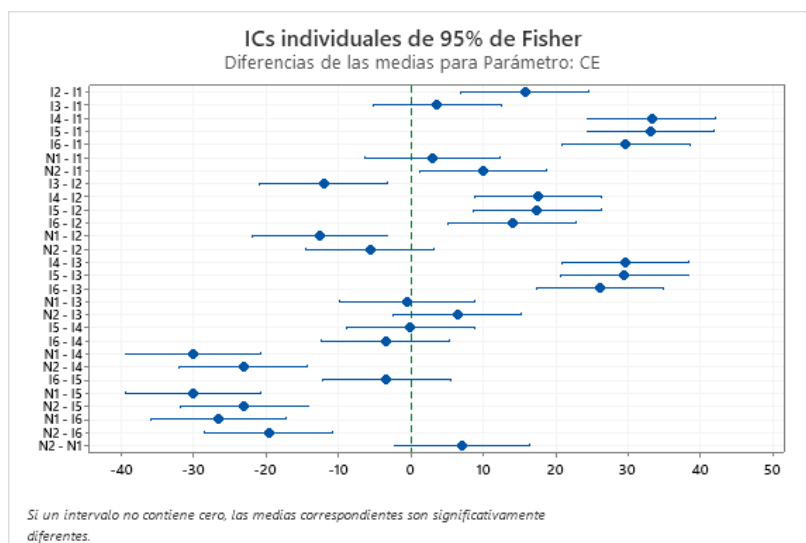


Figura 9. Diferencia de las medias para los datos de conductividad eléctrica.

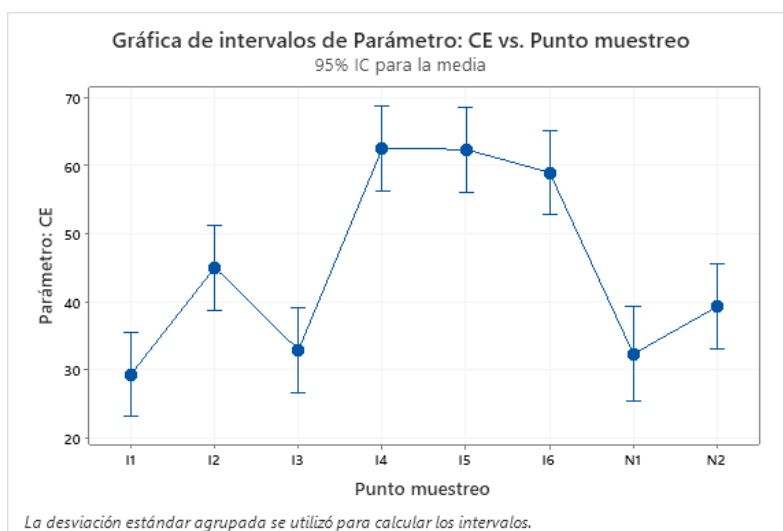


Figura 10. Gráfica de intervalos para los datos de pH.

- **Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis + prueba *post-hoc* de Nemenyi:**

Para el análisis de los nitratos, se muestran a continuación los resultados obtenidos de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis realizada con la versión de prueba del software Minitab.

Punto muestreo	N*	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
I1	5	0.1	3.6	-3.44
I2	5	1.05	22	0.42
I3	5	0.55	17	-0.63
I4	5	3.03	33.6	2.86
I5	5	2.35	31.8	2.48
I6	5	2.5	30.6	2.23
N1	4	0.2	7.4	-2.34
N2	5	0.3	11.5	-1.79

*N: Número de datos tomados

Tabla 4. Estadística descriptiva para prueba de Kruskal-Wallis.

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	7	35.32	0.000
Ajustado para empates	7	35.41	0.000

*GL: Grado de libertad (número de grupos de datos estudiados)

Tabla 5. Valor H para comprobación de hipótesis.

Se tomó el H ajustado para empates con un valor de 35.41 y 7 grados de libertad teniendo en cuenta que se analizaron 8 grupos de datos.

Teniendo en cuenta entonces un valor de significancia de 0.05, se comparó con los valores de la distribución de chi cuadrado:

GL*	7
Significancia (α)	0.05
X ²	14.067

*GL: Grado de libertad (número de grupos de datos estudiados)

Tabla 6. Valores de entrada y salida de la distribución de chi cuadrado

Por lo tanto, como se cumple:

$$H > X^2$$

Se rechaza la hipótesis nula, por lo cual se concluye que los datos no tienen medianas iguales, presentan diferencias estadísticas significativas y pertenecen a grupos diferentes.

Grupo 1	Grupo 2	R-mean	std err	z-stat	R-crit	p-value	Significativamente
i1	n1	3.78	7.63	0.49	14.97	0.62	Similares
i1	n2	7.90	7.20	1.10	14.12	0.27	Similares
i1	i2	18.40	7.20	2.55	14.12	0.01	Diferente
i1	i3	13.40	7.20	1.86	14.12	0.06	Similares
i1	i4	30.00	7.20	4.17	14.12	0.00	Diferente
i1	i5	28.20	7.20	3.92	14.12	0.00	Diferente
i1	i6	27.00	7.20	3.75	14.12	0.00	Diferente
n1	n2	4.13	7.64	0.54	14.97	0.59	Similares
n1	i2	14.63	7.64	1.91	14.97	0.06	Similares
n1	i3	9.63	7.64	1.26	14.97	0.21	Similares
n1	i4	26.23	7.64	3.43	14.97	0.00	Diferente
n1	i5	24.43	7.64	3.20	14.97	0.00	Diferente
n1	i6	23.23	7.64	3.04	14.97	0.00	Diferente
n2	i2	10.50	7.20	1.46	14.12	0.14	Similares
n2	i3	5.50	7.20	0.76	14.12	0.45	Similares
n2	i4	22.10	7.20	3.07	14.12	0.00	Diferente

Grupo 1	Grupo 2	R-mean	std err	z-stat	R-crit	p-value	Significativamente
n2	i5	20.30	7.20	2.82	14.12	0.00	Diferente
n2	i6	19.10	7.20	2.65	14.12	0.01	Diferente
i2	i3	5.00	7.20	0.69	14.12	0.49	Similares
i2	i4	11.60	7.20	1.61	14.12	0.11	Similares
i2	i5	9.80	7.20	1.36	14.12	0.17	Similares
i2	i6	8.60	7.20	1.19	14.12	0.23	Similares
i3	i4	16.60	7.20	2.30	14.12	0.02	Diferente
i3	i5	14.80	7.20	2.05	14.12	0.04	Diferente
i3	i6	13.60	7.20	1.89	14.12	0.06	Similares
i4	i5	1.80	7.20	0.25	14.12	0.80	Similares
i4	i6	3.00	7.20	0.42	14.12	0.68	Similares
i5	i6	1.20	7.20	0.17	14.12	0.87	Similares

Tabla 6. Resultados de la prueba post-hoc de Dunn

Apéndice F.*Normativa internacional para parámetros de calidad del agua aplicable a este estudio*

Decreto supremo 004-2017 (Perú)								
Parámetro	Categoría							
	1-A1	1-A2	1-A3	2-C4	3-D1	3-D2	4-E1	4-E2
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) *	1500	1600	--	--	2500	5000	1000	1000
pH	6.5 - 8.5	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	6.0-9.0	6.5-8.5	6.5-8.4	6.5-9.0	6.5-9.0
NO_3^- (mgNO_3^- -N/L) **	11.29	11.29	11.29	2.93	--	--	2.93	2.93
Acuerdo Ministerial No. 097 (Ecuador)								
Parámetro	Consumo humano y doméstico	Conservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarios		Riego agrícola	Uso pecuario			
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) *	--	--	--	--	--	--	--	--
pH	6.0 - 9.0	6.5 - 9.0	6.5 - 9.0	6.0 - 9.0	--	--	--	--
NO_3^- (mgNO_3^- -N/L) **	11.29	2.93	2.93	--	--	--	11.29	11.29
Guías para la calidad del agua potable (OMS)								
Parámetro	Agua para consumo humano							
NO_3^- (mgNO_3^- -N/L) *	11.29							
Decreto 1575 de 2007 (Colombia)								
Parámetro	Consumo humano							
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) *	1000							
pH	6.5-9.0							
NO_3^- (mgNO_3^- -N/L) **	10							

*CE: Conductividad eléctrica, NO_3^- : Nitratos

** En las normativas de Perú, Ecuador y OMS se muestran originalmente valores de mgNO_3^-/L para los nitratos, por lo que se realizó un ajuste con la conversión $4.43 \text{ mgNO}_3^-/\text{N/L} = 1 \text{ mgNO}_3^-/\text{L}$

Tabla 1. Valores máximos admitidos según normativas internacionales y nacionales