

Revisión sistemática de literatura sobre el efecto de la agricultura en la calidad del agua
superficial en ecosistemas de alta montaña

Jean Franco Larrotta Ballesteros

Trabajo de Grado para optar por el título de ingeniero civil

Director

Daniel Cristina Rey Romero

Ingeniera Ambiental, MSc.

Codirector

Edgar Ricardo Oviedo Ocaña

Ingeniero Sanitario, MSc., PhD.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2020

Dedicatoria

A mis papás y a mis hermanos, quienes siempre creyeron en mí, este logro es para ellos.

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento a la Universidad Industrial de Santander por las herramientas proporcionadas para la realización de este trabajo, a la profesora Daniela Cristina Rey Romero, al profesor Edgar Ricardo Oviedo Ocaña y al grupo de investigación de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (GPH) por su acompañamiento y orientación en el desarrollo de este trabajo. Siempre ha sido un privilegio trabajar con ellos.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción.....	14
1. Objetivos.....	16
1.1 Objetivo general	16
1.2 Objetivos específicos.....	16
2. Marco de referencia	17
2.1 Ecosistemas de alta montaña	17
2.2 Contaminación difusa del agua por agricultura.....	18
2.2.1 Nutrientes.	19
2.2.2 Pesticidas.	19
2.2.3 Sales.....	19
2.2.4 Sedimentos.	19
2.2.5 Materia orgánica y microorganismos patógenos.	20
2.2.6 Metales pesados y contaminantes emergentes.....	20
2.3 Mecanismos de transporte de contaminantes agrícolas.....	21
2.4 Metodologías para el monitoreo de la calidad del agua superficial	22
2.4.3 Cuencas pareadas.....	22
2.4.4 Parcela experimental.....	23

3. Metodología.....	23
3.1 Búsqueda y selección de estudios primarios.	23
3.2. Extracción y gestión de los datos.	25
3.3. Síntesis y análisis de datos.	26
4. Resultados y discusión	27
4.1 Evolución y estado actual de las investigaciones	27
4.2 Objetivos de las investigaciones.....	30
4.2.2 Precipitación.	31
4.2.3 Coberturas.....	33
4.3 Metodologías empleadas en las investigaciones	34
4.3.1 Macro enfoques.	34
4.3.3 Duración de los estudios y frecuencias de muestreo.	36
4.3.6 Análisis de datos.....	39
4.4 Parámetros para evaluar la calidad del agua superficial.....	43
4.4.1 pH y temperatura.	44
4.4.2 Nutrientes.	45
4.4.3. Pesticidas.	45
4.4.4 Microorganismos patógenos.....	49
4.4.5 Materia orgánica.	50
4.4.6 Sedimentos.	50

4.4.7 Sales.....	51
5. Conclusiones.....	53
Referencias Bibliográficas.....	56
Apéndices	67

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Estructura de la ecuación de búsqueda por grupo de contaminantes y de estudios generales.	24
Tabla 2. Frecuencia de actividades agrícolas mencionadas en los artículos.	32
Tabla 3. Frecuencia de la precipitación media anual de los estudios.	33
Tabla 4. Frecuencia de la cobertura vegetal mencionada en los artículos.	33
Tabla 5. Frecuencia de metodologías empleadas en las investigaciones.	35
Tabla 6. Superficie de estudio en función de las metodologías empleadas.	36
Tabla 7. Duración de los estudios.	37
Tabla 8. Frecuencia de muestreo de las investigaciones.	38
Tabla 9. Tipo de muestreo reportado en los estudios.	39
Tabla 10. Frecuencia de software utilizado en los estudios.	42
Tabla 11. Valores máximos y mínimos de los parámetros más estudiados por categoría de contaminantes de acuerdo con el uso del suelo.	46
Tabla 12. Concentración de pesticidas presentes en el agua reportados.	48
Tabla 13. Concentración de pesticidas presentes en sedimentos reportados.	49

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Resultados de filtrado de documentos	26
Figura 2. Evolución y estado actual de los estudios	28
Figura 3. Distribución de los artículos por país de estudio (n=27 artículos).....	29
Figura 4. Distribución de los artículos por continente de estudio (n=27 artículos)	29
Figura 5. Frecuencia de mención de las categorías de contaminantes (n=27 artículos).....	43
Figura 6. Mapa de clasificación de las publicaciones seleccionadas por categoría de objetivos.	90
Figura 7. Distribución de los artículos por categoría de objetivos (n=27 artículos)	91
Figura 8. Gráfica de frecuencia de los parámetros más mencionados en las publicaciones.	95

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Montañas del mundo	67
Apéndice B. Ecuaciones de búsqueda utilizadas y resultados obtenidos	68
Apéndice C. Mapa de información a extraer de las investigaciones	69
Apéndice D. Información general de las publicaciones seleccionadas.	70
Apéndice E. Características del área de estudio de las publicaciones seleccionadas.	74
Apéndice F. Metodologías empleadas en las publicaciones seleccionadas.....	78
Apéndice G. Categorías de contaminantes estudiados por las publicaciones seleccionadas.	82
Apéndice H. Pruebas estadísticas aplicadas en las publicaciones seleccionadas	86
Apéndice I. Dinámica de publicación de los continentes a través del tiempo	89
Apéndice J. Dinámica de publicación de los continentes a través del tiempo	90
Apéndice K. Software estadístico y de modelado de calidad del agua empleado en las publicaciones seleccionadas.	92
Apéndice L. Frecuencia de mención de los parámetros analizados en las publicaciones seleccionadas.	94
Apéndice M. Valores máximos y mínimos de los parámetros discretizados por uso del suelo	96
Apéndice N. Valores de los parámetros discretizados por estación o temporada del año ...	99

Resumen

Título: Revisión sistemática de literatura sobre el efecto de la agricultura en la calidad del agua superficial en ecosistemas de alta montaña*.

Autor: Jean Franco Larrotta Ballesteros**

Palabras clave: agua, actividades agrícolas, alta montaña, contaminación difusa, contaminantes agrícolas

Los servicios ecosistémicos ofrecidos por la alta montaña junto con el aumento de la demanda de alimentos han impulsado el desarrollo social y económico de estas regiones catalizándolas en zonas de producción agrícola. Esta actividad requiere de diversos insumos y genera desechos que degradan suelos y recursos hídricos. Con el propósito de establecer una relación entre el desarrollo de la agricultura y su efecto en la calidad del agua, se realizó una revisión sistemática de literatura que incluyó la revisión de 27 artículos científicos previamente seleccionados, que permitieron caracterizar los avances en los estudios en las siguientes áreas: i) objetivos propios de las investigaciones; ii) metodologías empleadas; y iii) parámetros analizados para el monitoreo y/o simulación de la calidad del agua superficial. Se estableció que los contaminantes más estudiados son los nutrientes y los parámetros de mayor interés son el pH, la conductividad eléctrica, los nitratos (NO_3^-), la temperatura y el oxígeno disuelto. Por otra parte, se encontró que las características ambientales como la precipitación, la cobertura vegetal y características físicas de los cauces influyen en los mecanismos de transporte de los contaminantes. Se describieron las metodologías empleadas y se observó que predomina el análisis exploratorio de las fuentes hídricas. Así mismo, se logró establecer que en las investigaciones predominan los muestreos de agua mensuales, de forma manual y con muestras puntuales. Respecto a las categorías de contaminantes, se obtuvo información sobre las fuentes difusas agrícolas y los efectos que causan cada una en particular en el estado del cuerpo de agua. Esta información confirma el impacto negativo que tiene la agricultura sobre la calidad del agua superficial, la poca literatura existente respecto a la problemática y la atención que necesita en futuras investigaciones.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías físico mecánicas. Escuela de ingeniería civil. Director: Daniela Cristina Rey Romero, Codirector: Edgar Ricardo Oviedo Ocaña

Abstract

Title: Systematic review of literature on the effect of agriculture on surface water quality in high mountain ecosystems*.

Author: Jean Franco Larrota Ballesteros**

Keywords: water, agricultural activities, high mountain, nonpoint pollution, agricultural contaminant

The ecosystem services provided by high mountains together with the increased demand for food have boosted the social and economic development of these regions by catalysing them into agricultural production areas. This activity requires various inputs and generates wastes that degrade soil and water resources. In order to establish a relationship between the development of agriculture and its effect on water quality, a systematic review of the literature was carried out, which included a review of 27 previously selected scientific papers, which made it possible to characterize progress in studies in the following areas: i) the research objectives; ii) the methodologies used; and iii) the parameters analyzed for monitoring and/or simulating the quality of surface water. It was established that the most studied pollutants are nutrients and the parameters of greatest interest are pH, electrical conductivity, nitrates (NO₃-), temperature and dissolved oxygen. On the other hand, it was found that environmental characteristics such as precipitation, vegetation cover and physical characteristics of the watercourses influence the transport mechanisms of the pollutants. The methodologies used were described and it was observed that the exploratory analysis of water sources predominates. Likewise, it was possible to establish that in the investigations monthly water samples predominate, manually taken and with point samples. With regards to the categories of contaminants, information was obtained on agricultural diffuse sources and the effects that each one causes on the state of the water body. This information confirms the negative impact that agriculture has on the quality of surface water, the scarce literature regarding the problem and the attention it needs in future research.

* Degree project

** Physicomechanical Engineering's Faculty. Civil Engineering school. Director: Daniela Cristina Rey Romero, Co director: Edgar Ricardo Oviedo Ocaña

Introducción

Los ecosistemas de montaña son las torres de agua del mundo (Kohler & Maselli, 2009), los cuales abarcan gran parte de la biodiversidad de la Tierra (Foggin, 2016) y juegan un papel fundamental en la regulación hidrológica (Buytaert et al., 2006). Además, proveen recursos hídricos que resultan ser un elemento importante en los asentamientos humanos y el desarrollo social y económico a escala regional (Kinouchi, Nakajima, Mendoza, Fuchs, & Asaoka, 2019).

Desafortunadamente, los cambios dramáticos en el uso del suelo (es decir, la tala en páramos y bosques de alta montaña)(D. Ruiz, Moreno, Gutiérrez, & Zapata, 2008) junto con la necesidad de incrementar la producción regional (Ruiz O., Martinez, & Figueroa, 2015) para satisfacer la creciente demanda de alimentos relacionada con el crecimiento de la población (Mateo-Sagasta, Zadeh, & Turrall, 2017), ha catalizado la transformación de estos ecosistemas de alta montaña (Ruiz O. et al., 2015) en zonas para la práctica de actividades económicas tales como la agricultura y el pastoreo extensivo (Kohler & Maselli, 2009). Estas transformaciones implican un impacto negativo a largo plazo, amenazando la existencia de estos frágiles reservorios y ecosistemas (D. Ruiz et al., 2008); e impactos en el corto plazo, como la degradación de la calidad del recurso hídrico a través de la descarga de nutrientes, pesticidas, materia orgánica, microorganismos patógenos, sales, sedimentos, metales pesados y contaminantes emergentes (Dzikiewicz, 2000). A su vez, estos cambios generan problemas de anegamiento, desertificación, salinización, erosión, entre otros, que repercuten en las superficies regadas (FAO, 1997). Si bien este problema ha sido documentado y estudiado por varias organizaciones a nivel mundial, se hace necesario recopilar esta información para

evaluar e interpretar toda la investigación disponible relevante (Caro, Rodríguez, Calero, Fernández-Medina, & Piattini, 2005) con el fin de tener información sistematizada que facilite la implementación de estrategias para prevenir y/o mitigar la contaminación y la planificación de actividades agrícolas que armonicen con la conservación de estos ecosistemas.

En este contexto, el objetivo de esta investigación es realizar una revisión sistemática de la literatura existente sobre los efectos de la agricultura en la calidad del agua en ecosistemas de alta montaña, y de esta manera identificar e interpretar respuestas a los siguientes cuestionamientos:

- (i) ¿Cuál ha sido el objetivo de las investigaciones realizadas?
- (ii) ¿Cuáles actividades agrícolas han sido objeto de investigación?
- (iii) ¿Cuáles son los contaminantes más estudiados?
- (iv) ¿A través de qué parámetros o indicadores se han evaluado estos contaminantes?
- (v) ¿Cuáles han sido las metodologías que se han usado para determinar el efecto de la agricultura sobre la calidad del agua?
- (vi) ¿Cómo se han analizado los resultados obtenidos de las investigaciones?

Los resultados de este estudio servirán como referente para futuras investigaciones sobre contaminación difusa del agua de origen agrícola y también proveer datos e información general que permitan el diagnóstico, la predicción y el monitoreo de fuentes superficiales para la gestión de los ecosistemas acuáticos y la mitigación de los impactos nocivos sobre ellos. Este trabajo, a su vez, estuvo enmarcado en el macro proyecto de investigación titulado

“Análisis Participativo de la influencia del Uso del Suelo en los Servicios Hidrológicos de Suministro y Regulación Ofertados por el Ecosistema de Páramo Seco. Caso: Berlín (Complejo Santurbán, Santander-Colombia” (GPH, CEMOS, & GPAD, 2020) que actualmente desarrollan los grupos de investigación GPH, CEMOS y GPAD de la UIS.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Analizar sistemáticamente la literatura relacionada con los efectos de la agricultura sobre la calidad del agua superficial en ecosistemas de alta montaña

1.2 Objetivos específicos

Determinar cuáles han sido los objetivos y enfoques metodológicos de las investigaciones.

Identificar los contaminantes que se han estudiado y la contribución de estos al deterioro de la calidad del agua superficial.

2. Marco de referencia

2.1 Ecosistemas de alta montaña

Las montañas son frágiles ecosistemas los cuales son globalmente importantes como fábricas del agua de la tierra dado que más de la mitad de la humanidad depende del agua dulce que se capta, almacena y purifica en las regiones montañosas; desde el punto de vista ecológico, son hábitats de rica diversidad biológica; y desde el punto de vista social, las montañas son de importancia para la recreación y el turismo y áreas de un importante valor cultural (Grêt-Regamey, Brunner, & Kienast, 2012; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020).

Aproximadamente el 11% de la tierra se localiza en estos ecosistemas que comparten la propiedad de la alta altitud por encima de los 2000 msnm (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020), elevándose rápidamente desde el terreno circundante (Bergeron, 2020). Sin embargo, las cadenas montañosas no están distribuidas homogéneamente en todo el mundo y representan un rol diferente en cada uno de los continentes (FAO, 2015). El Apéndice A presenta la localización de las regiones montañosas a nivel mundial, según las seis clases establecidas por el Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente. Este organismo considera las regiones de alta montaña, en las categorías 1, 2 y 3; correspondiente a altitudes mayores a 2500 msnm. No obstante, en el mundo la importancia de estos ecosistemas radica en los bienes y servicios ambientales que ofrecen a las comunidades que de ellas y en ellas viven (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020).

Si bien estos ecosistemas son sensibles a los cambios climáticos y vulnerables a desastres naturales (i.e. avalanchas, terremotos, entre otros) (Bergeron, 2020), las presiones resultantes de los cambios en las prácticas de uso del suelo, el desarrollo de la infraestructura, el turismo no sostenible, la fragmentación de los hábitats y el cambio climático (Grêt-Regamey et al., 2012), generan cambios en la composición, estructura y dinámica de los ecosistemas de alta montaña (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

2.2 Contaminación difusa del agua por agricultura

La contaminación de fuentes no puntuales agrícolas se define como la contaminación resultante de un efecto acumulativo de aportes individuales de grandes cantidades de agentes contaminantes en acuíferos, lagos, ríos, costas, la atmósfera y los ecosistemas (Cotler & Iura Gonzales, 2010; Mateo-Sagasta et al., 2017; Qin, 2014) . Con la intensificación de la producción agrícola y el sector ganadero se ha desarrollado un incremento en el uso de insumos agrícolas (Evans, Mateo-Sagasta, Qadir, Boelee, & Ippolito, 2019) a tal punto que la aplicación de fertilizantes minerales en el mundo es diez veces mayor a la que se usaba en la década de los sesenta (Mateo-Sagasta et al., 2017), el consumo mundial de pesticidas se aproxima a los cuatro millones de toneladas por año (FAO, 2019) y el de productos de animales como la carne, se prevé que aumente a 376 millones de toneladas para 2030 (Amine et al., 2003) y la leche a 1043 millones de toneladas para el año 2050 (Mateo-Sagasta, Zadeh, & Turrall, 2018).

Los principales contribuyentes agrícolas a la contaminación del agua son nutrientes, pesticidas, sales, sedimentos, carbono orgánico, patógenos, metales y residuos de drogas (Mateo-Sagasta et al., 2017).

2.2.1 Nutrientes. El exceso de nutrientes presentes en los fertilizantes sintéticos y el estiércol pueden causar a menudo la eutrofización de cuerpos de agua (Mateo-Sagasta et al., 2018) y en casos severos se presenta aumento de biomasa conllevando a una mayor turbidez y afloramientos de algas planctónicas, algunas de estas nocivas, que crean toxinas que son perjudiciales para los peces así como para otros animales; la descomposición de biomasa así como los procesos metabólicos de las algas consumen el oxígeno disponible creando una zona muerta o de hipoxia (Cotler & Iura Gonzales, 2010; Crouzet, 1999; EPA, 2019).

2.2.2 Pesticidas. Cuando se selecciona y gestiona incorrectamente el uso de pesticidas, es posible que se contamine el agua con sustancias tóxicas y cancerígenas que no solo pueden afectar a los humanos y resultar fatales si la exposición es persistente, sino también a otros organismos vivos causándoles efectos crónicos que con el tiempo pueden impactar de manera negativa no solo a los individuos sino a la biodiversidad y al ecosistema (FAO, 1997; Lai, 2017; Mateo-Sagasta et al., 2017).

2.2.3 Sales. La movilización y concentración de sales producida por la aplicación excesiva de fertilizante, sobreexplotación de agua subterránea para uso agrícola e irrigación desmesurada reducen la vida acuática, aumentan la salinidad del suelo e incrementan los costos de potabilización del agua (EPA, 2013; Mateo-Sagasta et al., 2018).

2.2.4 Sedimentos. Los sedimentos como contaminantes pueden ser estudiados desde el punto de vista físico y químico. La deposición de grandes cantidades de sedimentos en los

cuerpos de agua altera las características hidráulicas y causan turbidez en el agua, impidiendo la penetración de luz solar necesaria para el crecimiento de algas y desarrollo normal de la vida acuática. El efecto químico se da porque algunos contaminantes logran adherirse a las partículas que al final van a ser depositadas en los cuerpos de agua. Generalmente los altos niveles de sedimentos en el agua se presentan por procesos erosivos (naturales o antropogénicos) y por el transporte de estos en la escorrentía (Beaudry, 2020; FAO, 1997; Mateo-Sagasta et al., 2018).

2.2.5 Materia orgánica y microorganismos patógenos. La excreta producto de la ganadería está relacionada con la contaminación por materia orgánica y de organismos patógenos (Mateo-Sagasta et al., 2018). Además de la excreta, la materia orgánica puede provenir de residuos de cultivos mal manejados y residuos de alimento del ganado produciendo la eutrofización, afloramiento de algas nocivas, agotamiento del oxígeno y la alteración de todo el ecosistema del río (EPA, 2013; Mateo-Sagasta et al., 2018; Wen, Schoups, & Van De Giesen, 2017). Los organismos patógenos presentes en el agua superficial resultan perjudiciales para la salud pública ya que causan enfermedades con alto impacto en la morbilidad y mortalidad (Mateo-Sagasta et al., 2017).

2.2.6 Metales pesados y contaminantes emergentes. En el ambiente agrícola los contaminantes emergentes pueden ser de uso humano (i.e. farmacéuticos, productos de cuidado personal), ganadero (i.e. hormonas, medicamentos veterinarios, metabolitos) y para la protección de plantas (i.e. nuevos pesticidas nanoparticulados (Boxall, 2012)). Por otra parte, la presencia de metales pesados en el agua superficial es asociada con los residuos de las actividades mineras, lixiviados de vertederos, aguas residuales industriales y urbanas y escorrentía urbana (Chattopadhyaya et al., 2014). Los metales pesados y los contaminantes

emergentes pueden producir toxicidad en el agua a niveles elevados, así como efectos no conocidos en la vida acuática y en la salud humana (EPA, 2013).

2.3 Mecanismos de transporte de contaminantes agrícolas

Las cargas de contaminación tienen muchas fuentes y siguen caminos a través del aire, las aguas superficiales y las aguas subterráneas (Mateo-Sagasta et al., 2018). Con respecto a la vía aérea, existen tres mecanismos principales de deposición atmosférica de partículas contaminantes: seca, húmeda y difusión gaseosa (Marginet, 2010). Si bien esta vía es importante y significativa, dado que a través de estos mecanismos se pueden afectar cuerpos de agua en zonas donde no hay agricultura (Shunthirasingham et al., 2011), las concentraciones causadas son consideradas de segundo orden en el sistema hidrológico (Mateo-Sagasta et al., 2018). La contaminación por vías hidrológicas se da como resultado de la exportación desde granjas y concentración en cuerpos de agua. Las vías típicas de contaminación del agua son: i) desde escorrentía, drenaje de agua e inundaciones hasta arroyos, ríos y estuarios donde factores como la pendiente, la textura del suelo y la precipitación hacen que la concentración de contaminantes sea mayor (Cotler & Iura Gonzales, 2010; Mateo-Sagasta et al., 2018), ii) desde la solución del suelo hasta la filtración profunda y la recarga de aguas subterráneas donde deben existir condiciones favorables para lixiviación (Ritter & Shirmohamaddi, 2001) y iii) desde la erosión del suelo natural o inducida por el hombre hasta las corrientes ricas en sedimentos (EPA, 2013; Mateo-Sagasta et al., 2018).

2.4 Metodologías para el monitoreo de la calidad del agua superficial

2.4.1 Análisis exploratorio. El objetivo de esta metodología es la descripción estadística de los parámetros medidos y el reporte de hallazgos en la calidad del agua para conocer el estado actual de las fuentes y poder realizar una gestión eficaz sobre estas (Bartram & Pedley, 1996; Diaz Caravantes, Duarte Tagles, & Durazo Galvez, 2016; Lorenzo Carrasco, n.d.). La metodología estadística consta de dos etapas. En primer lugar, se realiza una exploración de los datos (obtenidos de campañas de muestreo o de una base de datos (Diaz Caravantes et al., 2016)) que permita formarse una idea del comportamiento de la información en las observaciones dadas, mediante la realización de estudios gráficos y numéricos simples. Posteriormente se lleva a cabo el análisis descriptivo mediante la síntesis de las medidas tomadas en la muestra y recogidas en las distintas variables (Hipel & McLeod, 1994; Lorenzo Carrasco, n.d.; Mancera P., Salamanca P., Giraldo H., & Santos M., 2003).

2.4.2 Aguas arriba/aguas abajo. El monitoreo aguas arriba / aguas abajo se ha utilizado con éxito para evaluar el impacto en la calidad del agua de fuentes aisladas (Dressing et al., 2016). En este diseño, las estaciones de monitoreo se sitúan aguas arriba y aguas abajo del área estudiada haciendo posible atribuir los cambios en la calidad del agua a causas específicas, siempre que las medidas de manejo y otras variables de uso del suelo sean monitoreadas en toda el área de estudio (Dressing & Meals, 2005; Dressing et al., 2016).

2.4.3 Cuencas pareadas. El diseño básico requiere como mínimo dos cuencas hidrográficas (tratamiento y control) y dos períodos de tiempo (calibración y postratamiento (Dressing et al., 2016)). La base de este enfoque es que existe una relación cuantificable entre los datos de calidad de agua pareados para las dos (o más) cuencas hidrográficas, y que esta

relación es válida hasta que se realice un cambio importante en una de las cuencas hidrográficas (Clausen & Spooner, 1993).

2.4.4 Parcela experimental. Las parcelas experimentales se usan generalmente en diseños de monitoreo que presentan replicación de los usos del suelo, particularmente para objetivos de investigación (Dressing et al., 2016). El monitoreo a esta escala se centra en la observación de eventos de tormenta, dado el hecho de que el transporte de cargas contaminantes (a través de la escorrentía y partículas del suelo), es inducido por el impacto y propiedades físicas de las gotas de lluvia (Kinnell, 2016). Por esta razón, la simulación de lluvia a menudo es usada para controlar las condiciones de estudio y evitar resultados erróneos (Dressing et al., 2016; Kinnell, 2016).

3. Metodología

3.1 Búsqueda y selección de estudios primarios.

La búsqueda de documentos se realizó en las bases de datos SCOPUS y WEB OF SCIENCE de acuerdo con la estructura de la ecuación de búsqueda general (Tabla 1) establecida para cada grupo de contaminantes y de estudios generales. Para esto se tuvieron en cuenta únicamente documentos de tipo “artículo científico” y el uso de términos en inglés. En el Apéndice B se presentan las ecuaciones de búsqueda empleadas en la revisión para cada grupo de contaminantes.

Tabla 1.

Estructura de la ecuación de búsqueda por grupo de contaminantes y de estudios generales

Criterio de Búsqueda	Ecuación de búsqueda
Tipo de contaminante	Water AND agricultural practices AND ecosystem AND pollution type AND contaminant
Estudios generales sobre contaminación difusa	Water AND type of study AND agricultural practices AND ecosystem AND pollution type

Se obtuvo un total de 433 resultados netos que después fueron compilados en una base de datos realizada en Excel para así ser sometidos a los filtros de selección y de esta forma descartar aquellos que no aporten a los objetivos de la revisión. Para el proceso de filtrado de los resultados (Figura 1) se establecieron cuatro criterios de inclusión para los documentos.

- **Filtrado por título:** se establecieron tres opciones de relación de términos en el título: (i) entre calidad del agua y el contaminante específico buscado; (ii) entre calidad del agua y uso agrícola del suelo y (iii) un último que expresara la combinación de los dos primeros. Se seleccionaron 115 títulos que pudieran potencialmente aportar a la revisión.
- **Filtro por resumen:** una vez filtrados por título se procedió a leer el resumen de los documentos seleccionados y se tuvo en cuenta que los estudios expresaran haber monitoreado, evaluado o modelado la calidad de fuentes de agua superficial para detectar y/o cuantificar fuentes de contaminación difusa. De los 115 títulos, 55 expresaron de forma explícita o implícita el criterio establecido y fueron seleccionados.

- **Filtro por altitud:** dado que la revisión está limitada al análisis de resultados en ecosistemas de alta montaña, se seleccionaron 28 estudios donde la altura máxima oscila desde los 2000 msnm en adelante (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020) y establecen que su zona de estudio hace parte de la alta montaña.
- **Filtro por contenido:** se tuvieron en cuenta 27 documentos que responden a las preguntas de investigación establecidas y que reportan datos que pueden ser analizados cualitativa y cuantitativamente.

En la búsqueda no se incluyeron documentos que se centraran únicamente en el estudio de metales pesados y contaminantes emergentes, ya que se hizo énfasis en los contaminantes que actualmente está monitoreando el grupo GPH en su proyecto de investigación en el Páramo de Berlín.

3.2. Extracción y gestión de los datos.

Se administraron los artículos con el software Mendeley y mediante la herramienta Xmind se realizó un mapa general con la información relevante que se esperaba obtener de los documentos (Apéndice C). Además, con los 27 artículos seleccionados se creó una base de datos general en Excel donde se plasmó información básica de cada documento, a saber: (i) título; (ii) autores; (iii) año de publicación; (iv) revista de publicación; (v) palabras clave del autor; (v) país de publicación (Apéndice D); y adicionalmente con los ítems establecidos en el mapa general tales como: (vi) objetivos de la investigación; (vii) características generales

(i.e. zona de estudio, altitud, actividades agrícolas, entre otras) (Apéndice E); (viii) metodologías empleadas para el monitoreo, simulación o evaluación (Apéndice F); (ix) categorías de contaminantes estudiados (Apéndice G) y (x) métodos usados para el procesamiento y análisis de datos (Apéndice H).

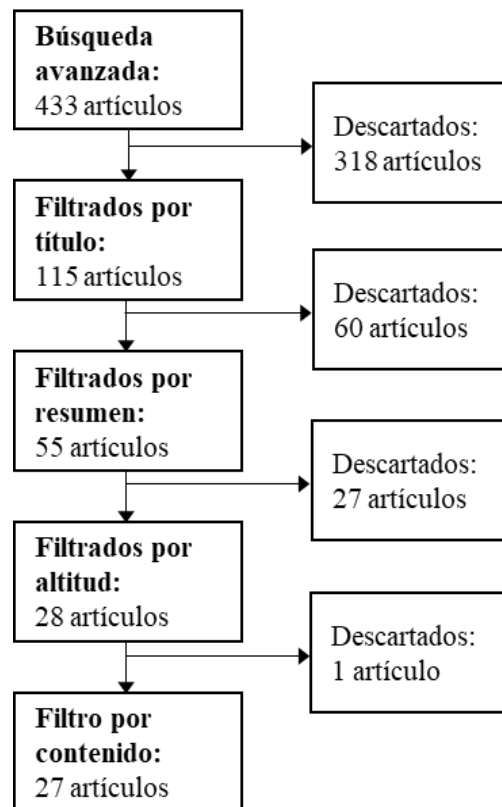


Figura 1. Resultados de filtrado de documentos

3.3. Síntesis y análisis de datos.

A partir de la información reportada en los estudios se realizó un análisis estadístico descriptivo de la evolución y el estado actual de la información, objetivos de las

investigaciones y características propias de estas, metodologías empleadas para el desarrollo de los estudios con sus respectivos datos e información representativa del área de estudio y de los parámetros seleccionados para evaluar la calidad del agua superficial junto con sus resultados. Para el análisis de la evolución y el estado actual de las investigaciones se tuvo en cuenta documentos de todos los años.

Los objetivos de las investigaciones se clasificaron en tres categorías principales y se relacionaron con las actividades agrícolas y cobertura propias de cada estudio. Se describieron las metodologías más empleadas y se encontró relación entre estas y el tamaño de las áreas de estudio, lo cual se plasmó en una matriz. Se describen los procedimientos de muestreo y los tipos de muestras más frecuentes en los estudios y la forma en que cada uno procesó la información obtenida en campo. Con respecto al análisis de los datos, se mencionaron las pruebas y modelos más usados para tratar la información, así como los programas o modelos empleados en las investigaciones. Además, se identificaron los parámetros estudiados para evaluar la calidad del agua, sus posibles fuentes de emisión y la forma en que fueron medidos.

4. Resultados y discusión

4.1 Evolución y estado actual de las investigaciones

El tema de la influencia de la actividad agrícola sobre la calidad del agua superficial y las respuestas de los ecosistemas de alta montaña a estas no ha sido muy estudiado en las últimas

dos décadas (1998-2018) acorde con lo reportado en las dos bases de datos consideradas en este estudio y esto se refleja en que no hubo publicaciones científicas sobre esta temática durante algunos años y que el promedio de artículos publicados con relación al tema es de 1 artículo por año. Sin embargo, como se observa en la Figura 2, en 2019 se presentó un aumento significativo de estudios publicados superando al año anterior (2018) en 5 artículos y estableciendo un nuevo máximo de artículos con respecto al máximo anterior que era de 2 artículos en un mismo año.

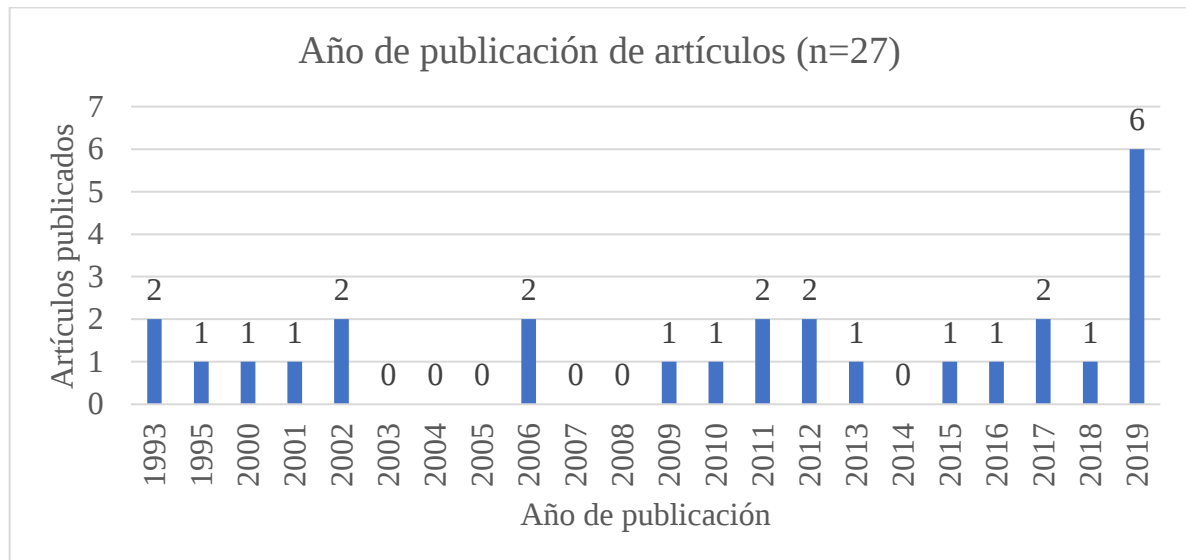


Figura 2. Evolución y estado actual de los estudios

Actualmente Colombia es el país que más ha desarrollado estudios relacionados con el tema, con un 37% (10 de 27 artículos) de las publicaciones (Figura 3), lo que representa cierto avance sobre el desarrollo de estas investigaciones por encima de los demás países, seguido por Ecuador, Venezuela, Austria y Nepal cada uno con un 7% (2 de 27 artículos) de participación y por último los demás países que fueron incluidos para realizar la revisión cuentan con una participación del 4% es decir, con un artículo cada uno. De la misma forma,

la mitad de los estudios más recientes (2019) corresponden a Colombia (3 de 6 artículos), lo que representa el interés por parte de la comunidad científica en la región.

Actualmente el continente americano tiene el mayor número de investigaciones publicadas con un 67% (18 de 27 artículos), seguido por Europa y Asia con un 15% y por último África con un 4% de participación. Oceanía no reporta investigaciones bajo esta temática (Figura 4), debido a que la presencia de estos ecosistemas en este continente no supera el 1% (FAO, 2015). La mayoría de las publicaciones en América corresponden a América del Sur (15 de 18 artículos) de las cuales todas han sido realizadas en países andinos (Colombia, Ecuador, Venezuela y Bolivia).

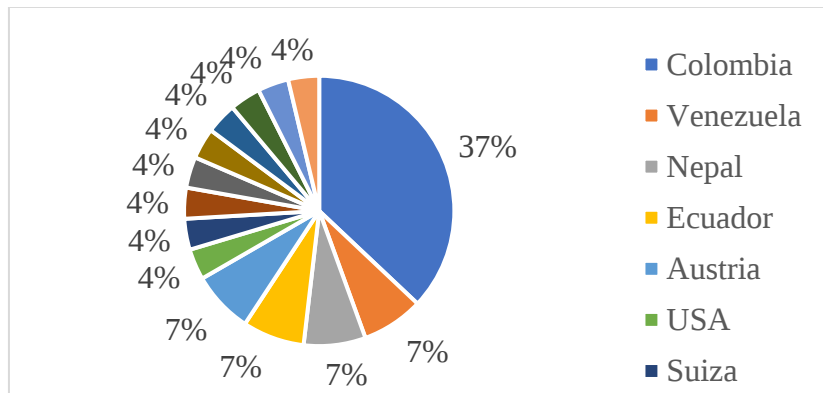


Figura 3. Distribución de los artículos por país de estudio (n=27 artículos)

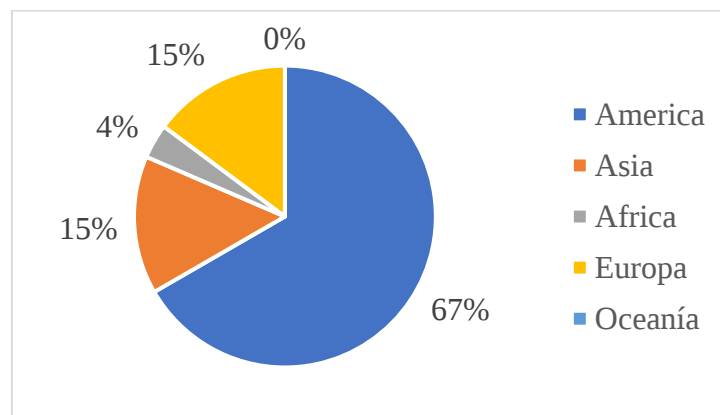


Figura 4. Distribución de los artículos por continente de estudio (n=27 artículos)

La matriz representada en el Apéndice I muestra la dinámica de publicación de los continentes a través del tiempo. En el caso de América se observa que se ha sido un poco más constante en el estudio de la temática mientras que en África se ha sido menos frecuente. En América, Asia y Europa, continentes con mayor presencia de ecosistemas de montaña (FAO, 2015), es posible notar una tendencia positiva en la publicación de artículos referentes al tema.

4.2 Objetivos de las investigaciones

A partir de los objetivos establecidos en cada investigación, se identificaron tres categorías principales en las que se agruparon los estudios de acuerdo con sus objetivos particulares (Apéndice J). La primera de ellas referente a aquellos estudios que buscaban directamente evaluar el impacto de la actividad agrícola sobre la calidad del recurso hídrico, dentro de la cual se clasificaron 48% de los artículos (13 de 27 de artículos). La segunda agrupa a aquellos documentos en los cuales el objetivo principal se centró en el monitoreo y/o en la evaluación del estado actual de la calidad del agua sin centrarse en medir el impacto de la actividad agrícola desarrollada en la zona de estudio, en esta categoría se ubicó el 37% de los artículos (10 de 27 artículos). Por último, los documentos restantes (4 de 27 artículos), correspondientes al 15% del total, se incluyeron en la tercera categoría donde se identificó la influencia de diferentes variables ambientales (geología, temporadas de lluvias, entre otras) sobre la calidad del agua en cuencas con presencia de agricultura.

4.2.1 Actividades agrícolas. En todos los estudios se logró establecer que la agricultura afectaba de alguna forma a las fuentes hídricas circundantes, aunque como es de notar, existieron estudios en los que no se especifica la actividad agrícola en particular (Tabla 2). Los cultivos, con 26 menciones en los documentos, predominan como actividad agrícola, siendo la papa y la cebolla larga los más estudiados debido a las condiciones agroclimáticas ofrecidas en los ecosistemas de alta montaña (DANE, 2015; FAO, 2005). El pastoreo para la crianza de ganado resulta ser representativo en las zonas de estudio al ser mencionado 18 veces en los 27 estudios. Además, se mencionaron otras actividades muy específicas como la silvicultura (Weigand, Pelikan, Ratschan, & Scheder, 2002) y la presencia de pequeñas industrias agrícolas en estos ecosistemas (Gamvroudis, Nikolaidis, Tzoraki, Papadoulakis, & Karalemas, 2015).

4.2.2 Precipitación. Los mecanismos de transporte de fuentes no puntuales son impulsados por procesos hidrológicos (FAO, 1997) y particularmente son vulnerables a los procesos relacionados con el cambio ambiental, como lo es la precipitación (Suescún et al., 2017) que varía de acuerdo con el grupo montañoso y la altitud (Kohler & Maselli, 2009) y da lugar a la escorrentía de nutrientes, sedimentos y plaguicidas (FAO, 1997). A continuación, se presentan en la Tabla 3, los valores de precipitación anual reportados en los estudios.

Tabla 2.

Frecuencia de actividades agrícolas mencionadas en los artículos (n=27 artículos)

ACTIVIDAD AGRÍCOLA	F
Cultivo	26
Papa	5
Cebolla larga	3
Arroz	2
Arracacha	1
Flores	1
Frijol	1
Maíz	1
Mijo	1
Mostaza	1
Vegetales	1
Zanahoria	1
Eucalipto	1
ND*	7
Silvicultura	2
Ganadería y pastoreo	18
Bovino	9
Equino	2
Ovino	3
De carga	1
ND*	3
Industria agrícola	1

Nota: *No especifica el tipo de cultivo o ganado.

Tabla 3.

Frecuencia de la precipitación media anual de los estudios (n=17 artículos)

PRECIPITACION MEDIA ANUAL [mm]	F
100-500	2
500-1000	5
1000-1500	2
1500-2000	4
2000-2500	2
>2500	2

4.2.3 Coberturas. La distribución de tierras y superficies agrícolas en una cuenca desempeña un papel importante en la exportación de contaminantes al sistema de drenaje (Li et al., 2018). La diversidad en la cobertura de las regiones de estudio se evidencia en la Tabla 4, donde además de las tierras de cultivo, se identificaron otros grupos relevantes en estos ecosistemas y se agruparon dentro de las clases y subclases establecidas por el Corine Land Cover (Ideam, 2010).

Tabla 4.

Frecuencia de la cobertura vegetal mencionada en los artículos (n=18 artículos)

COBERTURA	F
Pasto	13
Bosques	8
Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	6
Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3

Es importante notar que los pastos son la cobertura vegetal en tener más menciones, lo cual se relaciona directamente con la contaminación de fuentes no puntuales, dado que estos producen flujos más altos de escorrentía comparado con los otros tipos de cobertura vegetal (Suescún et al., 2017).

4.3 Metodologías empleadas en las investigaciones

4.3.1 Macro enfoques. Las metodologías empleadas en los estudios se pueden agrupar en cuatro grandes enfoques (Tabla 5): el primero referente a aquellos estudios cuyo objetivo es la descripción estadística de los parámetros [7] mediante un análisis exploratorio de la información. Esta metodología fue utilizada por 14 de los 27 estudios. El segundo y tercer enfoque corresponden a las investigaciones que emplearon los diseños de cuencas pareadas y aguas arriba/aguas abajo (Dressing & Meals, 2005), 2 y 7 investigaciones usaron estos enfoques respectivamente. Los que usaron el diseño de cuencas pareadas tuvieron en cuenta factores del paisaje tales como el uso del suelo, cobertura vegetal y pendiente de la cuenca, mientras que los que emplearon el diseño aguas arriba/aguas abajo se caracterizaron porque predomina el uso del suelo sobre otros parámetros. Las zonas de estudio que emplearon el enfoque aguas arriba/aguas abajo obedecen principalmente a un uso agrícola del suelo, es decir, tuvieron en cuenta que otras fuentes de contaminación (i.e. vertimientos de aguas residuales) no influyeran en los resultados. Por último, 7 estudios emplearon metodologías experimentales que se pueden dividir en 2 tipos de simulaciones: parcelas de escorrentía y de lluvia artificial. Estas simulaciones principalmente se realizaron para medir los sedimentos y nutrientes arrastrados por el agua y para evaluar la interacción de la lluvia con los diferentes

usos de suelo. Cada enfoque fue aplicado a un estudio individual a excepción de 2 investigaciones que usaron un macro enfoque y fueron complementados con una metodología experimental (Mojica & Guerrero, 2013; D. M. Ruiz, Martínez Idrobo, Otero Sarmiento, & Figueroa Casas, 2017).

Tabla 5.

Frecuencia de metodologías empleadas en las investigaciones (n=27 artículos)

METODOLOGÍA	F
Análisis exploratorio	14
Cuencas pareadas	2
Aguas arriba/ aguas abajo	7
Parcela experimental	7

4.3.2 Áreas de estudio. El 63% (17 de 27 artículos) reportan ya sea el área de influencia del estudio o la longitud de los tramos del río estudiados. Las áreas de estudios varían desde 1 m² (Mojica & Guerrero, 2013; Poulenard, Podwojewski, Janeau, & Collinet, 2001) hasta 137500 km² (Xia et al., 2019), lo cual, según lo observado, va relacionado directamente con la metodología empleada (Tabla 6). Las áreas de mayor influencia muestran tener más afinidad con el enfoque de análisis exploratorio, mientras que las áreas pequeñas se relacionan directamente con las metodologías experimentales. Las longitudes de transectos reportados van desde los 100 m (Ramírez, Giraldo, Zúñiga, Ramos, & Chará, 2018) hasta los 565 km (Restrepo & Syvitski, 2006). Los estudios de cuencas pareadas no reportaban el área de estudio, sin embargo, en uno de ellos se reporta una longitud de cauce estudiada de 200 m (Taniwaki et al., 2019).

Tabla 6.

Superficie de estudio en función de las metodologías empleadas (n=15 artículos).

METODOLOGÍA/ÁREA DE ESTUDIO	0-	100-	10 ³ m ² -	0.1-	10 ³ -	10 ⁴ -	>10 ⁵
	100 m ²	10 ³ m ²	0.1 km ²	10 ³ km ²	10 ⁴ km ²	10 ⁵ km ²	km ²
Análisis exploratorio	1		1	1	1		2
Aguas arriba/abajo				1	1	1	
Parcelas experimentales	4	2					

4.3.3 Duración de los estudios y frecuencias de muestreo. La duración de los estudios varía desde los 6 días (Ramírez et al., 2018) para investigaciones muy específicas hasta los 4 años (González-Martínez, Huguet, Pearse, McIntyre, & Camacho, 2019) para investigaciones que hacen parte de proyectos más grandes o generales (Tabla 7). En cuanto a las frecuencias de muestreo (Tabla 8), las investigaciones presentan diferentes intervalos de acuerdo con la normativa del país en el que se desarrolló la investigación o de acuerdo con el propósito del estudio, es por esta razón que se encuentran investigaciones en las que se realizó únicamente una campaña de muestreo (2 de 27 artículos) así como otras que realizaron muestreos de forma mensual durante aproximadamente 17 meses (6 de 27 artículos) siendo la frecuencia predominante en los estudios. Aunque el muestreo mensual pueda dar una representación cruda de los flujos diarios, si incluye eventos importantes resulta significativa (Meals, Richards, & Dressing, 2013). En algunos estudios la frecuencia fue variable (Carney, Binford, Kolata, Marin, & Goldman, 1993; Espinosa, Arias, Snchez-Colán, & Mazari-Hiriart, 2009) y se fijó de acuerdo con los objetivos propios del estudio,

ya fuese para establecer la influencia de los factores climáticos y el calendario agrícola sobre la calidad del agua o para estabilizar el modelo experimental (Tietze et al., 2002).

Tabla 7.

Duración de los estudios (n=25 artículos)

DURACIÓN	
[MESES]	F
<1	2
1-5	6
5-10	5
10-15	7
15-20	0
20-25	1
>25	4

4.3.4 Tipo de muestreo. La gran mayoría de estudios optaron por realizar muestreos manuales (18 de 23 artículos) debido al fácil acceso a los sitios de muestreo (Instituto Nacional de Salud, 2011) aunque eso represente mayor demanda de tiempo y mano de obra en el muestreo y en la recolección de datos (Zia, Harris, Merrett, Rivers, & Coles, 2013). De las investigaciones, 4 utilizaron un colector de esorrentía en sitio que almacenaba las muestras en el intervalo de muestreo (Mojica & Guerrero, 2013; Sarmiento, 2000; Suescún et al., 2017; Tietze et al., 2002), solo una reporta el uso de un sensor ISCO instalado *in situ* que muestreaba cada 10-15 min para determinar los sedimentos suspendidos en eventos de inundación (Gamvroudis et al., 2015) aunque en Rescicher et al. (Reischer et al., 2008) se reporta el uso de datos fisicoquímicos e hidrológicos (conductividad y parámetros de descarga) obtenidos de una red de sensores *in situ* en línea.

Tabla 8.

Frecuencia de muestreo de las investigaciones (n=15 artículos)

MUESTREO EN MESES	
Intervalo	F
<1	3
1-2	7
2-3	2
3-4	1
4-5	1
>5	1

4.3.5 Tipo de muestra. En los estudios se obtuvieron dos tipos de muestras: puntuales y compuestas (Tabla 9). Las investigaciones que reportaron el uso de muestras puntuales (12 de 18 artículos) presentaron procedimientos similares que consisten en tomar la muestra en la superficie (Abella G. & Martínez C., 2014) o a una profundidad representativa del cauce (D. M. Ruiz et al., 2017; Xia et al., 2019) en dirección o en contra del flujo (Abella G. & Martínez C., 2014; Mojica & Guerrero, 2013) y una vez obtuvieron la muestra esta fue filtrada in situ usando membranas de 0.2 μm (Chittoor Viswanathan, Jiang, Berg, Hunkeler, & Schirmer, 2016) o 0.45 μm (RUNDLE, JENKINS, & ORMEROD, 1993; Xia et al., 2019) y se almacenaron en un lugar oscuro y refrigerado para ser llevada lo más pronto posible al laboratorio. De los 6 estudios que reportan haber obtenido muestras compuestas, 4 las obtuvieron de la esorrentía mediante el uso de colectores instalados en campo. Los dos estudios restantes, obtuvieron las muestras compuestas en volúmenes individuales que posteriormente fueron envasadas en un solo recipiente de mayor volumen (Duguma, Tegegne, & Hegde, 2012; Shunthirasingham et al., 2011).

Tabla 9.

Tipo de muestreo reportado en los estudios (n=18 artículos)

TIPO DE MUESTRA	F
Puntual	12
Compuesta	6

4.3.6 Análisis de datos. Se tuvieron en cuenta las pruebas y métodos utilizados para el procesamiento de información en las investigaciones revisadas, las cuales fueron clasificadas en tres tipos de tratamiento de datos: (i) estadístico, (ii) con índices o indicadores de contaminación y (iii) no estadístico. En los estudios que reportaban análisis estadísticos de datos se identificaron tres tipos de pruebas principales: univariantes, multivariantes y análisis de correlaciones (Hernández Hernández & Plata Jiménez, 2018).

En las pruebas univariantes se encontró que en los estudios predomina el uso de estadística descriptiva (14 de 23 artículos) para el análisis de datos físicos y químicos (Otero, Figueroa, Muñoz, & Peña, 2011) del agua. Se usó el análisis de varianza (ANOVA) para mostrar la diferencia significativa entre las entradas y salidas de nutrientes en transectos con diferente uso del suelo (Carney et al., 1993). La prueba ANOVA de una vía fue usada para evaluar la diferencia de características fisicoquímicas entre regiones y categorías de uso del suelo (RUNDLE et al., 1993). A su vez, la prueba ANOVA de dos vías se usó para evaluar la diferencia entre años, entre estaciones y entre estaciones dentro de cada año en los valores medios de variables ambientales fisicoquímicas (Espinosa et al., 2009) y para analizar las diferencias entre la erosión con y sin influencia de las actividades humanas (Tietze et al., 2002). Además, se utilizó la prueba t de muestras pareadas para las estaciones y los sitios de

muestreo (Espinosa et al., 2009) y se empleó un modelo lineal generalizado para evaluar la diferencia entre años, entre estaciones y entre estaciones de cada año en la ocurrencia de virus o en la abundancia de bacterias indicadoras (Tietze et al., 2002).

También se usaron pruebas Kruskal-Wallis para encontrar diferencias significativas entre las variables del estudio (D. M. Ruiz et al., 2017) y con el fin de evaluar de manera independiente la incidencia de factores como el punto de muestreo, el período hidrológico y la matriz de ensayos de toxicológicos (agua y elutriados) en los resultados observados (Barrera, Espinosa, & Álvarez, 2019). El método LSD de Fisher y la prueba de Scheffé se usó para medir la variación de nitratos y fosfatos en transectos de cultivos en campos elevados (Carney et al., 1993). El método de Tukey-Kramer evaluó las diferencias entre los resultados de la erosión y escorrentía de cuatro ambientes diferentes (Tietze et al., 2002). La corrección de Bonferroni fue aplicada para un análisis múltiple (Farnleitner et al., 2010). Las distribuciones de Bernoulli y de quasiPoisson se asumieron para describir la presencia o ausencia de virus y abundancia de bacterias (Espinosa et al., 2009) respectivamente. Se realizaron transformaciones logarítmicas (Farnleitner et al., 2010; RUNDLE et al., 1993) y la prueba de Shapiro-Wilk (Barrera et al., 2019) para corroborar la distribución normal de los datos.

Entre las pruebas multivariantes más usadas se encuentra el análisis de componentes principales (PCA) que fue usado 4 veces en las investigaciones para reducir la dimensionalidad de los datos explicando las correlaciones entre una gran cantidad de variables en términos de una menor cantidad de factores subyacentes (Giri et al., 2019), lo que identificó un gradiente general en la composición del sustrato entre sitios de muestreo (RUNDLE et al., 1993) y resumió las condiciones físicas, químicas y biológicas del agua de

la corriente (Taniwaki et al., 2019) para identificar patrones de variación temporal y espacial (Barrera et al., 2019). Se usaron regresiones para predecir la producción de sedimentos suspendidos (Restrepo & Syvitski, 2006). Se utilizó un MANOVA no paramétrico (PERMANOVA) con 9999 permutaciones con el fin de verificar las diferencias del agua superficial con respecto al uso de suelo o cobertura (Taniwaki et al., 2019). Los modelos log lineales y logit se emplearon para examinar la relación entre los parámetros fisicoquímicos y los factores ambientales con la abundancia de bacterias y la ocurrencia de virus respectivamente (Espinosa et al., 2009).

Se realizaron análisis de correlación para adaptar la variabilidad de la lluvia y la escorrentía a la pérdida de fracción mineral del suelo (Xia et al., 2019) y se empleó el coeficiente de correlación de Spearman para determinar si los parámetros cuantitativos de seguimiento de la fuente microbiana son cuantitativamente relacionados con otros parámetros microbiológicos, fisicoquímicos e hidrológicos (Farnleitner et al., 2010).

Con respecto a las investigaciones que realizaron el análisis de datos mediante índices o indicadores, solamente en dos estudios se reportó el uso de tres índices para describir el impacto de la contaminación agrícola: PIRI, ICOMO e ICOSUS. El índice PIRI (Pesticide Impact Rating Index) estableció el potencial de movilidad de los plaguicidas en estudio hacia aguas superficiales considerando las características ambientales de la zona de estudio (Mojica & Guerrero, 2013). El ICOMO y el ICOSUS fueron empleados ambos en la misma investigación, el primero para evaluar la contaminación en el agua por materia orgánica y el segundo para evaluar la contaminación por sólidos suspendidos (D. M. Ruiz et al., 2017).

Adicionalmente, se utilizaron otros enfoques de análisis para el procesamiento de la información como: una comparación no estadística para contrastar y predecir los resultados

de parámetros fisicoquímicos en más de una cuenca (Alexiades, Encalada, Lessmann, & Guayasamin, 2019) y un modelo SIAR (Stable Isotope Analysis) para rastrear las fuentes que contribuyen al aporte de nitratos en la cuenca (Xia et al., 2019). También se usó el modelo de simulación de cuencas SWAT para evaluar el transporte de sedimentos y los impactos en la calidad del agua en su versión SWAT2009 (Gamvroudis et al., 2015).

Para procesar la información se hizo uso de diferentes softwares estadísticos y de modelamiento de calidad del agua (Apéndice K). El software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) fue el más usado con 5 menciones en las investigaciones, seguido por Statgraphics Centurion en sus diferentes versiones con 3 menciones al igual que el software R. SAS Statistical software y PAST se emplearon cada uno en dos investigaciones. Otros programas mencionados en las investigaciones son: STATISTIC, Excel y Minitab. A continuación, se presenta la Tabla 10 con los programas empleados en las publicaciones.

Tabla 10.

Frecuencia de software utilizado en los estudios (n=13 artículos)

SOFTWARE		
ESTADÍSTICO	CALIDAD DEL AGUA	F
SPSS		5
Statgraphics Centurion		3
R		3
SAS statistical software		2
PAST		2
Statistica		1
	SWAT2009	1
Excel		1
Minitab		1

4.4 Parámetros para evaluar la calidad del agua superficial

El Apéndice L presenta la frecuencia de mención de los diferentes parámetros analizados para evaluar la calidad del agua en las publicaciones. Los nutrientes junto con las sales fueron los contaminantes más estudiados mientras que los pesticidas son los que menos menciones reportan en las investigaciones (Figura 5).

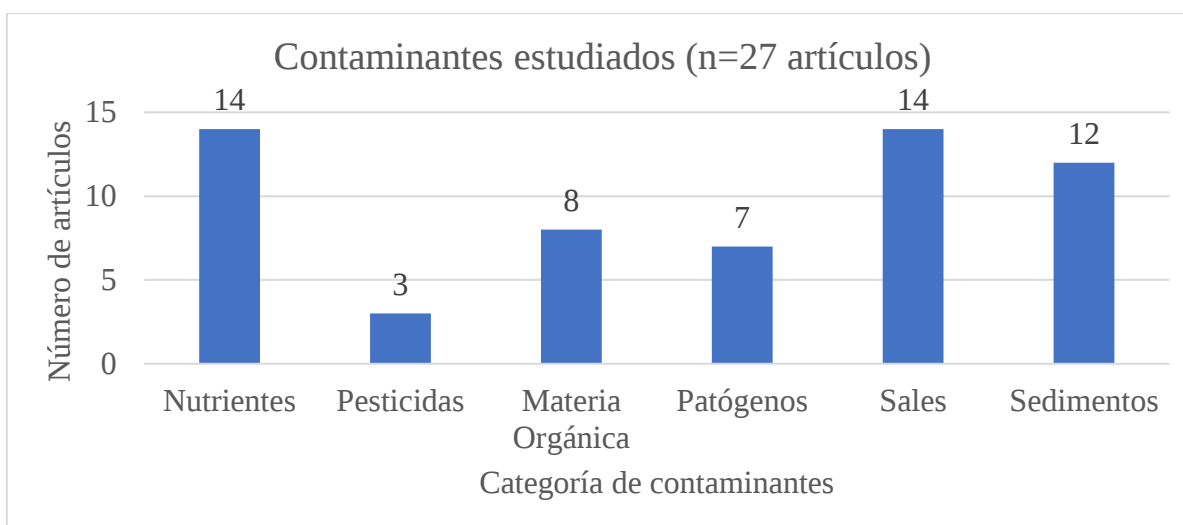


Figura 5. Frecuencia de mención de las categorías de contaminantes (n=27 artículos)

Los resultados generados por los estudios se tabularon en dos tablas. La primera, que tiene en cuenta la totalidad de los estudios y el uso de suelo específico de cada investigación, reporta los valores máximos y mínimos para los diferentes parámetros analizados (Apéndice M) y la segunda que presenta los valores máximos y mínimos de los parámetros estudiados en las investigaciones que analizaron su comportamiento según la época o estación del año (Apéndice N). Sin embargo, en esta revisión se analizó únicamente lo contemplado en la primera tabla. La variación estacional sobre la calidad del agua no se analizó, debido a que

cada estudio se realizó en un contexto particular en cuanto a factores ambientales y agrícolas (i.e. diferentes tipos de actividades y/o cultivos) lo cual no permitía llegar a conclusiones concretas sobre este factor en ecosistemas de alta montaña. A continuación, se presenta el análisis de los contaminantes más estudiados de cada categoría (Tabla 11).

4.4.1 pH y temperatura. El pH se mencionó 13 veces y 9 publicaciones reportan que fue medido *in situ* con equipos portátiles al igual que la temperatura. En entornos agrícolas el pH se puede ver afectado por factores como las precipitaciones (D. M. Ruiz et al., 2017), la cobertura del suelo (Poulenard et al., 2001), procesos biológicos en el agua (Barrera et al., 2019), posibles remediaciones en prácticas agrícolas o por las rocas y sustratos del cauce (González-Martínez et al., 2019). Sin embargo, los resultados de pH no muestran gran variación dentro de los estudios, estando la mayoría dentro del rango normal estipulado para aguas superficiales que es de 6.5 a 9 unidades (Abella G. & Martínez C., 2014). Aun así, se puede evidenciar que el agua es ligeramente más ácida en los sistemas de pastoreo y cultivo (pH = 3) que en los sitios naturales (pH = 7.79), esto puede ser a causa de la escorrentía ácida propia de los suelos de páramo (González-Martínez et al., 2019; D. M. Ruiz et al., 2017). Algunos suelos aplican cal para facilitar la asimilación de algunos nutrientes especialmente cuando los suelos son ácidos. Esto podría tener un efecto en los valores de pH durante precipitación, incrementando los valores de pH. De otro lado, el arrastre de suelo y materia orgánica que llega por escorrentía a los cuerpos de agua podría tener un efecto cuando se han empleado enmiendas orgánicas inestables que se degradan generando algunos ácidos orgánicos (ácidos grasos).

En cuanto a la temperatura, esta no varió drásticamente entre los usos del suelo, sino solo entre temporadas (Espinosa et al., 2009). La temperatura del agua en los diferentes usos del

suelo estuvo entre los 1 °C en zonas de pastoreo y los 27 °C en áreas afectadas por cultivos y pastoreo.

4.4.2 Nutrientes. Los nutrientes son los contaminantes más estudiados en las investigaciones con 15 artículos que analizan las diferentes formas en que estos se pueden presentar en el agua superficial. El parámetro más estudiado fue el nitrato con 12 menciones en los estudios, reportando un valor máximo de 24.8 mg NO₃/l en cultivos de cebolla larga y valores por debajo del límite de detección en cultivos de cereales. Seguido por los fosfatos, con 7 menciones y concentraciones que pueden superar los 13.5 mg PO₄/l. El amonio con 5 menciones y un rango desde 0.09 mg NH₄/l hasta los 4.3 mg NH₄/l. La concentración de estos iones es mayor en las zonas con cultivos debido a las altas dosis de fertilizantes sintéticos y estiércol usado como abono. Sin embargo, las fuentes que no han sido intervenidas presentan concentraciones de amonio superiores a las zonas de pastoreo. Aunque no se logra establecer la causa puntual de estos valores en las investigaciones es posible que su presencia se deba a la capacidad de la cobertura natural para alterar la concentración de nutrientes solubles de la precipitación después de interactuar con el ecosistema (Suescún et al., 2017). Otros factores que se pueden relacionar con el incremento en la concentración de estos iones son las descargas de aguas residuales de las poblaciones cercanas a las fuentes (Caro et al., 2005; Chittoor Viswanathan et al., 2016).

4.4.3. Pesticidas. Tres estudios reportaron el análisis de pesticidas, dos en agua (Tabla 12) y uno en sedimentos (Tabla 13). Diferentes formas de insecticidas fueron encontradas con más frecuencia con respecto a los herbicidas y fungicidas, aunque estos últimos presentan las concentraciones más altas de Tebuconazol y Difenconazol con 179.3 ng/l y 114.9 ng/l (Mojica & Guerrero, 2013) respectivamente.

Tabla 11.

Valores máximos y mínimos de los parámetros más estudiados por categoría de contaminantes de acuerdo con el uso del suelo

PARAMETROS	RANGO						
	NATURAL (n=73)	PASTOREO (n=181)	CULTIVO				PASTOREO Y CULTIVO (n=70)
			PAPA (n=19)	CEBOLLA LARGA (n=82)	CEREAL (n=53)	NE* (n=166)	
pH	7.79	4.02 - 8.52	-	6.33 - 7.67	7.00 - 7.90	4.9 - 8.72	3.00 - 9.00
Conductividad [μ S/cm]	82.2	10 - 528	-	10.20 - 245.60	60 - 150	19 - 727.10	5 - 257
Temperatura [°C]	5 - 16.70	1 - 26.70	-	10 - 21	-	15.15 - 20.77	7 - 27
Oxígeno disuelto [mg/L]	7.65 - 8.28	3.26 - 12.61	-	7.05 - 8.59	-	2.82 - 11.71	0.04 - 9.50
DBO5 [mg/L]	2.16	2.25	-	1.50 - 3.25	-	-	-
Carbono orgánico total [mg/L]	-	-	-	-	-	0.25 - 7.30	-
DQO [mg/L]	-	-	-	< 10 - 57.2	-	-	-
Turbidez [NTU]	5.53	0.03 - 12.90	-	-	-	0.60 - 13.60	1.30 - 5.90

Nitratos [mg NO ₃ /L]	0.23 - 6.30	0.23 - 23.47	1.22 - 10.50	< 4.43 - 24.8	ND** - 0.27	0.10 - 18.56	0.60 - 3.47
Fosfatos [mg PO ₄ /L]	0.10	0 - 0.50	0.10 - 0.20	< 1.35 - > 13.5	ND** - 0.60	0.09 - 1.94	-
Amonio [mg NH ₄ /L]	2.30	0 - 1.10	1.40 - 4.30	< 0.52	-	-	0.09 - 4.29
E. coli (escherichia coli) [UFC/100mL]	0 - 514	0 - 900	-	-	-	20 - 980	-
Enterococci [UFC/100mL]	-	0 - 778	-	-	-	1 - 370	-
Coliformes totales [UFC/100mL]	1100	1016 - 1125	-	-	-	0 - 404	-
Calcio [mg/L]	4	2.61 - 87.66	3 - 5.10	-	2.80 - 13.20	61.68 - 73.81	0.70 - 81.30
Magnesio [mg/L]	0.5	0.31 - 31.48	1.50 - 1.70	-	0.60 - 3.20	29.28 - 33.86	0.20 - 37.90
Potasio [mg/L]	3.9	0.04 - 5.30	6.40 - 6.90	-	ND** - 5.60	30.20 - 31.42	< 1 - 5
Sodio [mg/L]	-	0.09 - 19.67	-	-	0.90 - 11.10	60.19 - 62.53	< 2.5 - 36.7
Pérdida de suelo [t/ha]	0.58 - 1.08	0.34 - 44.96	<0.001 - 44.96	-	-	2.20 - 3.92	53.10 - 92.35

Nota: *Cultivos que no están entre los mencionados o que no se especifica su tipo en las publicaciones; ** Valores por debajo del límite de detección

Estas concentraciones se presentaron en cultivos de cebolla larga. Además, se pudo establecer que la deposición atmosférica es una vía significativa para la contaminación de cuerpos de agua, ya que se encontró la presencia de pesticidas en zonas cuyos procesos hidrológicos (i.e. esorrentía) no están influenciados por actividades agrícolas (Shunthirasingham et al., 2011). En cuanto a los pesticidas encontrados en sedimentos de cultivos de cebolla larga, se reportó la presencia de aldrín, dieldrín, DDT y congéneres; insecticidas organoclorados que pueden llegar a causar disrupción endocrina en humanos y que debido a su persistencia en el ambiente su uso está prohibido en Colombia (Barrera et al., 2019).

Tabla 12.

Concentración de pesticidas presentes en el agua reportados (n=2 artículos). Adaptado de (Mojica & Guerrero, 2013; Shunthirasingham et al., 2011)

PESTICIDA	UNIDAD	VALOR
Tebuconazol	ng/L	<102.95 – 179.3
Malatión	ng/L	< 40.35 – 69.9
Clorotalonilo	ng/L	< 16.05
Difenoconazol	ng/L	< 13.95 – 114.9
Hexachlorobenceno	pg/L	ND*
Trifularin	pg/L	72
Hexachloro-cyclohexane gamma	pg/L	41
Clorpirifós	pg/L	280
Dacthal	pg/L	BMDL**
Endosulfan alfa	pg/L	120
Endosulfan beta	pg/L	260
Endosulfan sulfate	pg/L	610
Trans-chlordane	pg/L	15
Cis-chlordane	pg/L	13
Trans-nonachlor	pg/L	17

Nota: *No detectado; ** Valor por debajo del límite de detección

Tabla 13.

Concentración de pesticidas presentes en sedimentos reportados (n=1 artículo). Adaptado de (Barrera et al., 2019).

PESTICIDA	UNIDAD	VALOR
Ditiocarbamatos, Maneb, mancozeb, metiram, propineb, thiram y ziram	mg/kg	0.145
Aldrin y dieldrin	mg/kg	0.014
Clorotalonilo	mg/kg	0.017
DDT y congéneres	mg/kg	0.047

4.4.4 Microorganismos patógenos. Los estudios reportaron la presencia de *Escherichia coli*, *Enterococci* y otros microorganismos patógenos en el agua. Los valores de *E. coli* registran su máximo de 980 UFC/100ml en zonas de cultivo, seguido por las zonas de pastoreo y el menor valor registrado corresponde a zonas naturales donde se llegó a reportar la no presencia de estos microorganismos en zonas que raramente son visitadas por humanos y animales (Derlet & Carlson, 2006). La presencia de *Enterococci* en zonas de cultivos (370 UFC/100ml) se relaciona de forma directa con la presencia de estos microorganismos en el agua utilizada para riego, que a su vez es alimentada por fuentes que reciben descargas de aguas residuales (Espinosa et al., 2009). Los coliformes totales fueron medidos en 4 investigaciones en zonas de pastoreo, de cultivo y naturales, siendo estas últimas las zonas de pastoreo las que presentan la mayor concentración con un valor de 1125 UFC/100ml sin ser muy diferentes a los 1100 UFC/100ml reportados en las zonas naturales.

A la presencia de estos contaminantes se le relacionó de forma muy estrecha con áreas utilizadas ampliamente por animales de carga o para el pastoreo de ganado e incluso animales salvajes (Derlet & Carlson, 2006). Sistemas sépticos en mal funcionamiento

también contribuyen a la presencia de estos microorganismos en el agua, aunque en los artículos seleccionados no se reporte esta problemática (An & Breindenbach, 2005).

4.4.5 Materia orgánica. Se analizaron la DBO₅, DQO, el carbono orgánico total y el oxígeno disuelto. El oxígeno disuelto, con 8 menciones en la totalidad de documentos, ha sido el parámetro más estudiado entre aquellos que se relacionan con esta categoría de contaminantes. Este parámetro se ve influenciado por la temperatura y el contenido de materia orgánica biodegradable, afectando los procesos biológicos (Abella G. & Martínez C., 2014), el metabolismo del cauce y la presencia o ausencia de microorganismos (Taniwaki et al., 2019). El valor máximo de oxígeno disuelto se presenta en las zonas de pastoreo con un valor de 12.61 mg/l. Los resultados de DBO₅ no presentan una diferencia significativa entre los diferentes usos del suelo (natural, pastoreo y cultivo de cebolla larga), sin embargo, la concentración máxima de 3.25 mg/l se da en los cultivos de cebolla larga. Estos resultados permitieron descartar el vertimiento de aguas domésticas en las corrientes de las investigaciones que midieron este parámetro (Abella G. & Martínez C., 2014).

Por último, la DQO al igual que el carbono orgánico total solo se estudiaron en una publicación cada uno. Los valores de DQO solo se reportan para los cultivos de cebolla larga y debido a la dispersión de los datos obtenidos no es posible establecer un comportamiento definido para la materia orgánica no biodegradable (Abella G. & Martínez C., 2014). Al igual que con la DQO, con los resultados obtenidos de carbono orgánico no se puede establecer una comparación entre los diferentes usos de suelo.

4.4.6 Sedimentos. La pérdida de suelo en las zonas afectadas por actividades agrícolas (cultivos y pastoreo) es notablemente mayor que en las áreas no intervenidas. Se reportan pérdidas de suelo hasta de 92.35 t/ha en zonas de cultivos y de pastoreo, mientras que en

zonas naturales no intervenidas se alcanzan a presentar pérdidas de 1.08 t/ha. Los procesos erosivos del suelo responden principalmente a las prácticas agrícolas para el establecimiento de continuos de cultivos y zonas de pastoreo, donde se quema y se reemplaza la cobertura natural por otras especies que, en muchos casos, no son propias del ecosistema. Estos procesos también se pueden ver afectados por características propias de las partículas del suelo, como el contenido de humedad (Otero et al., 2011), la densidad aparente y la repelencia al agua (Poulenard et al., 2001).

Los valores de turbidez en los diferentes usos de suelo son bajos, aun así, en todos los escenarios supera los límites establecidos para la preservación de la fauna y de la flora (Ministerio del medio ambiente, 2001) y para consumo humano que son de 0.143 NTU y 1.0 NTU, respectivamente (OMS, 2011). El valor más alto se presenta en los cultivos con 13.6 NTU y en las zonas de pastoreo con 12.9 NTU, respectivamente. La concentración más baja se encuentra en zonas de pastoreo; no obstante, en el estudio que reporta los valores que se usaron para esta revisión, se aclara que esto se debe a que la turbidez varía con la altitud donde, en la parte más alta de la cuenca se obtuvieron menores concentraciones de este parámetro y en la parte baja se registraron valores más altos debido a la ubicación de cultivos en la parte baja de la cuenca y la reducción de la cobertura natural (D. M. Ruiz et al., 2017).

Se puede concluir que la erosión, las actividades agrícolas, la escorrentía de nutrientes de las tierras de cultivo y, en algunos casos, la materia orgánica de las descargas de aguas residuales (González-Martínez et al., 2019) son las principales causas de contaminación por sedimentos en los ambientes agrícolas.

4.4.7 Sales. La conductividad eléctrica, con 12 menciones, claramente se ve afectada por las actividades antropogénicas (Alexiades et al., 2019) en las zonas de estudio dado

que el máximo es de 727.1 [$\mu\text{S}/\text{cm}$] correspondiente a los estudios con zonas de cultivo. Este valor se da como respuesta al uso de sales asociadas a la fertilización e incluso al riego. El mínimo de 5 [$\mu\text{S}/\text{cm}$] se da en zonas con cultivos y pastoreo. Para las zonas naturales solo se reportó un valor de 82.2 [$\mu\text{S}/\text{cm}$]. El aumento de la conductividad eléctrica a lo largo de los cauces se relaciona con las precipitaciones, las escorrentías que lavan los suelos cultivados (Abella G. & Martínez C., 2014; Otero et al., 2011) y los sustratos del cauce (RUNDLE et al., 1993).

Calcio, magnesio, potasio y sodio fueron las sales más comunes en las publicaciones. El calcio fue mencionado en 7 publicaciones y los demás elementos fueron nombrados 6 veces. Las concentraciones de calcio variaron de acuerdo con el uso del suelo desde los 0.07 mg/l en zonas de cultivos y pastoreo hasta los 87.6 mg/l en zonas de pastoreo. Al analizar los datos de magnesio cabe notar que existe una concentración menor en zonas naturales (0.5 mg/l) comparado con zonas de cultivos y pastoreo (37.9 mg/l). El uso de cal para mejorar la acidez en los suelos de páramo (González-Martínez et al., 2019; D. M. Ruiz et al., 2017) y de esta forma mejorar la producción agrícola, causa un aumento en la dureza total del agua (Giri et al., 2019) que no solo afecta la salud, sino que también, si es usada para riego causa incrustaciones calcáreas aumentando el riesgo de taponamientos y el mal funcionamiento del sistema de riego (Feigin. A. & Shalhevet, 1991). En Rundle et al. (RUNDLE et al., 1993) se ve una gran influencia de la altitud sobre la concentración de calcio y magnesio, dado que estas disminuyen a medida que la altitud se incrementa a causa de los cultivos de arroz y maíz que se desarrollan en la parte baja de la cuenca.

El potasio y el sodio presentaron valores más altos en los cultivos con concentraciones de 31.42 mg/l y 62.53 mg/l. Estos valores se pueden presentar por el uso de estos

minerales para el crecimiento de las plantaciones que se pueden perder por medio de la escorrentía en forma soluble. En el caso del potasio hay que tener un cuidado especial dado que es un nutriente muy móvil y se lixivia fácilmente de los tejidos de las hojas (Suescún et al., 2017). Igualmente, las propiedades del cauce y su interacción con el ambiente pueden causar un aumento de estas concentraciones a través de la meteorización natural (Giri et al., 2019).

5. Conclusiones

Las investigaciones de los efectos de la agricultura sobre la calidad del agua en los ecosistemas de alta montaña es un tema que no ha sido muy estudiado debido a su complejidad en todas las variantes que influyen en el deterioro del agua superficial y al costo elevado que representa adelantar estudios de este tipo. Sin embargo, el interés en la investigación de esta problemática ha venido aumentando en el continente americano, asiático y europeo con el pasar de los años y se espera que se continúe con tendencia al aumento para poder desarrollar soluciones a problemas agrícolas que no impacten de una manera tan negativa la calidad del agua y por ende la del ecosistema.

En la revisión sistemática se identificaron tres enfoques según los objetivos de cada estudio. El primero de ellos consistía en evaluar el impacto de la actividad agrícola desarrollada en la zona de estudio sobre la calidad del agua, el segundo enfoque recopila aquellas publicaciones que su objetivo principal era conocer el estado actual de los cuerpos de agua a través de monitoreos y/o evaluación de la calidad del agua. A diferencia del primer enfoque, este no se centraba en el estudio de la influencia del uso del suelo sobre la calidad del agua superficial. Por último, el tercer enfoque agrupó a aquellas publicaciones que buscaban establecer una relación entre las variables ambientales (i.e.

estación, temporada de lluvias) y el comportamiento de los parámetros indicadores. De las metodologías para el muestreo y/o monitoreo de los parámetros se encontró que el análisis exploratorio ha sido el más empleado debido a que es sencillo y arroja resultados aceptables, seguido por el macro enfoque de aguas arriba/aguas abajo y los experimentos controlados, y la menos frecuente fue la de cuenca pareadas.

Los parámetros fisicoquímicos del agua dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas. Los más estudiados en las publicaciones fueron el pH, la conductividad eléctrica, la concentración de nitratos (NO_3), temperatura y el oxígeno disuelto, estos, a excepción de los nitratos, en su mayoría fueron medidos *in situ*. Los demás parámetros encontrados en la literatura, debido a la complejidad de su detección se analizaron con técnicas y métodos de laboratorio. Los resultados de los parámetros permiten evidenciar que existe un comportamiento diferente de estos bajo el efecto de los usos del suelo.

Se encontró que las categorías de contaminantes agrícolas más estudiadas y que mayor efecto reportan en la degradación de la calidad del agua son los nutrientes y las sales, provenientes de los fertilizantes sintéticos, del estiércol utilizado como abono y de los suelos. El cambio de cobertura natural incrementa los procesos erosivos haciendo de los sedimentos una fuente importante de contaminantes del agua debido a su efecto como contaminante físico y químico. La presencia de microorganismos patógenos y el de materia orgánica se le atribuye a la existencia de ganado en las zonas cercanas a las corrientes. El uso de pesticidas afecta la toxicidad del agua de forma directa y la persistencia de algunas de estas sustancias causa efectos negativos que perduran en el tiempo y en el ecosistema. En algunos estudios se reporta la estabilización natural de los cauces (González-Martínez et al., 2019), sin embargo, las remediaciones agrícolas y las

mejoras en las prácticas agrícolas son necesarias para disminuir el impacto de las fuentes de contaminación difusa.

Referencias Bibliográficas

- Abella G., J. P., & Martínez C., M. J. (2014). Contribution of a tributary stream to eutrophication of lake tota (Boyacá, Colombia). *Revista Colombiana de Quimica*.
- Alexiades, A. V., Encalada, A. C., Lessmann, J., & Guayasamin, J. M. (2019). Spatial prediction of stream physicochemical parameters for the Napo River Basin, Ecuador. *Journal of Freshwater Ecology*. <https://doi.org/10.1080/02705060.2018.1542353>
- Amine, E. K., Baba, N. H., Belhadj, M., Deurenberg-Yap, M., Djazayery, A., Forrestre, T., ... Yach, D. (2003). Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. *World Health Organization - Technical Report Series*. <https://doi.org/10.1093/ajcn/60.4.644a>
- An, Y. J., & Breindenbach, G. P. (2005). Monitoring E. coli and total coliforms in natural spring water as related to recreational mountain areas. *Environmental Monitoring and Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s10661-005-4691-9>
- Barrera, H. J. A., Espinosa, R. A. J., & Álvarez, S. J. P. (2019). Pollution in lago de tota, colombia: Acute toxicity on daphnia magna (cladocera: Daphniidae) and hydra attenuata (hydroida: Hydridae). *Revista de Biologia Tropical*. <https://doi.org/10.15517/RBT.V67I1.33573>
- Bartram, J., & Pedley, S. (1996). Water Quality Monitoring- A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes. *United Nations Environment Programme; World Health Organization*. <https://doi.org/10.1002/ejoc.201200111>
- Beaudry, F. (2020). How Sediment Causes Pollution. Retrieved March 30, 2020, from

<https://www.thoughtco.com/water-pollution-sediment-1204128%0A%0A>

Bergeron, J. (2020). Characteristics of a Mountain Ecosystem. Retrieved April 30, 2020, from sciencing.com website: <https://sciencing.com/characteristics-mountain-ecosystem-8211750.html>

Boxall, A. B. A. (2012). *New and Emerging Water Pollutants arising from Agriculture*. Retrieved from <http://www.oecd.org/greengrowth/sustainable-agriculture/49848768.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*. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.002>

Carney, H. J., Binford, M. W., Kolata, A. L., Marin, R. R., & Goldman, C. R. (1993). Nutrient and sediment retention in Andean raised-field agriculture. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/364131a0>

Caro, M. A., Rodríguez, A., Calero, C., Fernández-Medina, E., & Piattini, M. (2005). Análisis y revisión de la literatura en el contexto de proyectos de fin de carrera: Una propuesta. *Revista Sociedad Chilena de Ciencia de La Computación*.

Chattopadhyaya, M. C., Soares, M. G., Campos, M. T. D. J. S., Ismadji, S., Lofrano, G., Barakat, M. A., & Carotenuto, M. (2014). *Heavy metals in water: presence, removal and safety* (S. Sanjay K., Ed.). Jaipur: Royal Society of Chemistry.

Chittoor Viswanathan, V., Jiang, Y., Berg, M., Hunkeler, D., & Schirmer, M. (2016). An integrated spatial snap-shot monitoring method for identifying seasonal changes and spatial changes in surface water quality. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.05.017>

- Clausen, J. C., & Spooner, J. (1993). *Paired watershed study design*.
- Cotler, H., & Iura Gonzales, D. (2010). Contaminación potencial difusa por actividad agrícola. *LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO*.
- Crouzet, P. (1999). Nutrients in European ecosystems. *Nutrients in European Ecosystems*.
- DANE. (2015). *La cebolla de rama o cebolla junca (Allium fistulosum), una hortaliza de gran importancia en la alimentación humana*. Retrieved from https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_may_2015.pdf
- Derlet, R. W., & Carlson, J. R. (2006). Coliform bacteria in Sierra Nevada wilderness lakes and streams: What is the impact of backpackers, pack animals, and cattle? *Wilderness and Environmental Medicine*. <https://doi.org/10.1580/PR05-05.1>
- Diaz Caravantes, R. E., Duarte Tagles, H., & Durazo Galvez, F. M. (2016). Amenazas para la salud en el Río Sonora: análisis exploratorio de la calidad del agua reportada en la base de datos oficial de México. *Revista de La Universidad Industrial de Santander. Salud*. <https://doi.org/10.18273/revsal.v48n1-2016010>
- Dressing, S. A., & Meals, D. W. (2005). Designing water quality monitoring programs for watershed projects. *Tech Notes 2*.
- Dressing, S. A., Meals, D. W., Harcum, J. B., Spooner, J., Stribling, J. B., Richards, R. P., ... O'Donnell, J. G. (2016). Monitoring and Evaluating Nonpoint Source Watershed Projects. *United States Environmental Protection Agency*.
- Duguma, B., Tegegne, A., & Hegde, B. P. (2012). Assessment of the effect of season and location on microbiological and physicochemical quality of livestock drinking water

in Ginchi watershed, Ethiopia. *Global Veterinaria*.

Dzikiewicz, M. (2000). Activities in nonpoint pollution control in rural areas of Poland.

Ecological Engineering. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(99\)00066-X](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(99)00066-X)

EPA. (2013). *Literature Review of Contaminants in Livestock and Poultry Manure and Implications for Water Quality*.

EPA. (2019). The Sources and Solutions: Agriculture.

Espinosa, A. C., Arias, C. F., Snchez-Colán, S., & Mazari-Hiriart, M. (2009).

Comparative study of enteric viruses, coliphages and indicator bacteria for evaluating water quality in a tropical high-altitude system. *Environmental Health: A Global Access Science Source*. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-8-49>

Evans, A. E., Mateo-Sagasta, J., Qadir, M., Boelee, E., & Ippolito, A. (2019). Agricultural water pollution: key knowledge gaps and research needs. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.10.003>

FAO. (1997). Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. In *Documentacion.Ideam.Gov.Co*.

FAO. (2005). Cultivo de papa. Retrieved May 15, 2020, from <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/cultivo.html>

FAO. (2015). *Mapping the vulnerability of mountain peoples to food insecurity* (Romeo, R.,). Rome.

FAO. (2019). *FAOSTAT Pesticides use statistics*. Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP>

Farnleitner, A. H., Ryzinska-Paier, G., Reischer, G. H., Burtscher, M. M., Knetsch, S.,

- Kirschner, A. K. T., ... Sommer, R. (2010). Escherichia coli and enterococci are sensitive and reliable indicators for human, livestock and wildlife faecal pollution in alpine mountainous water resources. *Journal of Applied Microbiology*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2010.04788.x>
- Feigin, A., I. R., & Shalhevet, J. (1991). Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection. *Advances Series in Agricultural Sciences* 17. <https://doi.org/10.5860/choice.29-0920>
- Foggin, J. M. (2016). Conservation Issues: Mountain Ecosystems. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.09199-5>
- Gamvroudis, C., Nikolaidis, N. P., Tzoraki, O., Papadoulakis, V., & Karalemas, N. (2015). Water and sediment transport modeling of a large temporary river basin in Greece. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.005>
- Giri, A., Bharti, V. K., Kalia, S., Kumar, K., Raj, T., & Chaurasia, O. P. (2019). Utility of multivariate statistical analysis to identify factors contributing river water quality in two different seasons in cold-arid high-altitude region of Leh-Ladakh, India. *Applied Water Science*. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-0902-3>
- González-Martínez, M. D., Huguet, C., Pearse, J., McIntyre, N., & Camacho, L. A. (2019). Assessment of potential contamination of Paramo soil and downstream water supplies in a coal-mining region of Colombia. *Applied Geochemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104382>
- GPH, CEMOS, & GPAD. (2020). *Análisis Participativo de la influencia del Uso del*

Suelo en los Servicios Hidrológicos de Suministro y Regulación Ofertados por el Ecosistema de Páramo Seco. Caso: Berlín (Complejo Santurbán, Santander-Colombia. Universidad Industrial de Santander.

Grêt-Regamey, A., Brunner, S. H., & Kienast, F. (2012). Mountain Ecosystem Services: Who Cares? *Mountain Research and Development*. <https://doi.org/10.1659/mrd-journal-d-10-00115.s1>

Hernández Hernández, Y. P., & Plata Jiménez, C. A. (2018). *Revisión sistemática de literatura acerca de los parámetros del suelo que afectan la cantidad de agua en los páramos andinos.* Universidad Industrial de Santander.

Hipel, K. W., & McLeod, A. I. (1994). Time series modelling of water resources and environmental systems. *Time Series Modelling of Water Resources and Environmental Systems*. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(95\)90010-1](https://doi.org/10.1016/0022-1694(95)90010-1)

Ideam. (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, escala 1:100.000. *Area*.

Instituto Nacional de Salud. (2011). *Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio.* Retrieved from [https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin SIVICAP/2011 Manual toma de muestras agua.pdf](https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2011%20Manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf)

Kinnell, P. I. A. (2016). A review of the design and operation of runoff and soil loss plots. *Catena*. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.06.013>

Kinouchi, T., Nakajima, T., Mendoza, J., Fuchs, P., & Asaoka, Y. (2019). Water security in high mountain cities of the Andes under a growing population and climate change: A case study of La Paz and El Alto, Bolivia. *Water Security*.

<https://doi.org/10.1016/j.wasec.2019.100025>

Kohler, T., & Maselli, D. (2009). Mountains and Climate Change - From Understanding to Action. In *Security*.

Lai, W. (2017). Pesticide use and health outcomes: Evidence from agricultural water pollution in China. *Journal of Environmental Economics and Management*.
<https://doi.org/10.1016/j.jeem.2017.05.006>

Li, W., Zhai, L., Lei, Q., Wollheim, W. M., Liu, J., Liu, H., ... Liu, S. (2018). Influences of agricultural land use composition and distribution on nitrogen export from a subtropical watershed in China. *Science of the Total Environment*.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.048>

Lorenzo Carrasco, J. M. (n.d.). *ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y EXPLOTACIÓN DE LOS DATOS DEL PLAN DE POLICÍA DE AGUAS* (Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla). Retrieved from <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/3775/direccion/Análisis+Estadístico+y+Explotación+de+los+Datos+del+Plan+de+Policía+de+Aguas%252F>

Mancera P., J. E., Salamanca P., E. J., Giraldo H., R., & Santos M., A. (2003). *Introducción a la modelación ecológica. Principios y aplicaciones* (Primera ed). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Marginet, J. D. (2010). *Deposición atmosférica de contaminantes, carbono orgánico y nutrientes*. Retrieved from <http://www.expedicionmalaspina.es/MI/DeposicionAtmosferic20100712120901.pdf>

Mateo-Sagasta, J., Zadeh, S. M., & Turrall, and H. (2017). Water pollution from agriculture: a global review. In *The food and Agriculture Organization of the United*

Nation Rome, 2018 and the the International Water Management Institute on behalf of the Water Land and Ecosystems research program of the CGIAR Colombo, 2018.
<https://doi.org/http://www.fao.org/3/a-i7754e.pdf>

Mateo-Sagasta, J., Zadeh, S. M., & Turrall, and H. (2018). *More people, more food, worse water? a global review of water pollution from agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Meals, D. W., Richards, R. P., & Dressing, S. A. (2013). Pollutant Load Estimation for Water Quality Monitoring Projects. *Tech Notes* 8.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2633.4243>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). Páramos. Retrieved April 30, 2020, from Ecosistemas estratégicos website:
<https://www.minambiente.gov.co/index.php/bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistematicos/ecosistemas-estrategicos/paramos>

Ministerio del medio ambiente. *DECRETO 1594 DE 1984 Usos del agua y residuos líquidos.* , (2001).

Ministerio del Medio Ambiente. (2002). Programa nacional para el manejo sostenible y restauración de ecosistemas de alta montaña colombiana: páramos. *Congreso Mundial de Páramos- Memorias Tomo I*.

Mojica, A., & Guerrero, J. A. (2013). Evaluation of pesticide movement towards tota lake catchment, Colombia. *Revista Colombiana de Química*.

OMS. (2011). Directrices para la calidad del agua de consumo humano. *Organización Mundial de La Salud*.

Otero, J. D., Figueroa, A., Muñoz, F. A., & Peña, M. R. (2011). Loss of soil and nutrients

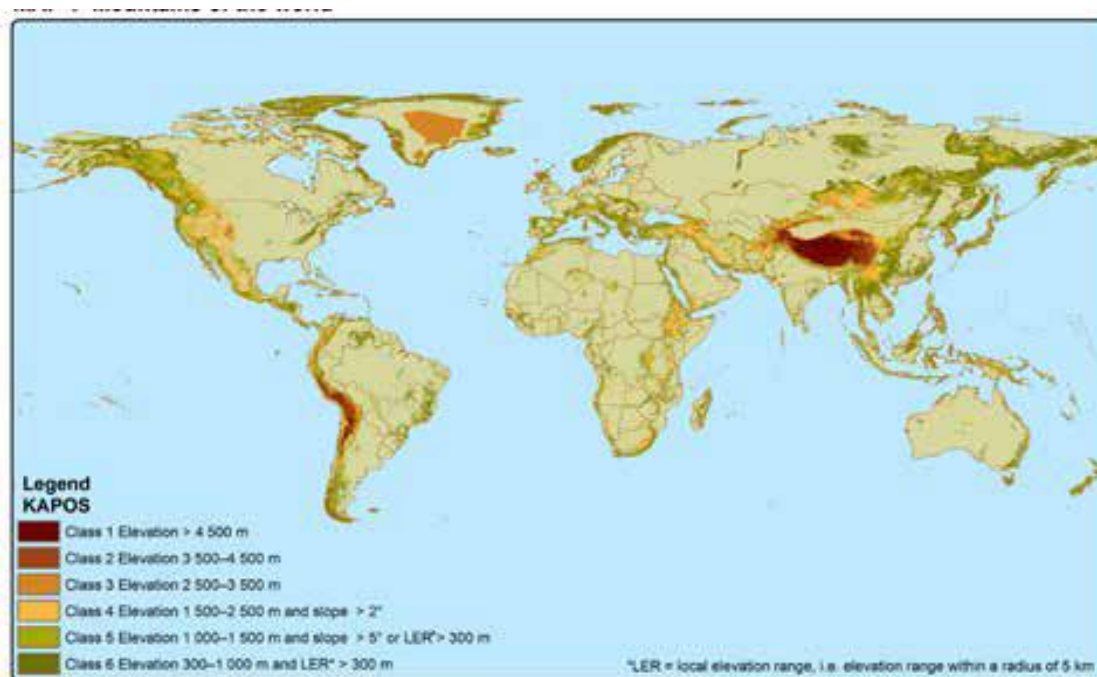
- by surface runoff in two agro-ecosystems within an Andean paramo area. *Ecological Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.08.001>
- Poulenard, J., Podwojewski, P., Janeau, J. L., & Collinet, J. (2001). Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Páramo: Effect of tillage and burning. *Catena*. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(01\)00148-5](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00148-5)
- Qin, X. (2014). *The study of agricultural non-point source pollution control policy system*. Michigan Technological University.
- Ramírez, Y. P., Giraldo, L. P., Zúñiga, M. D. C., Ramos, B. C., & Chará, J. (2018). Cattle raising influence over the aquatic macroinvertebrates in microbasins of central Andes, Colombia. *Revista de Biología Tropical*. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i3.30316>
- Reischer, G. H., Haider, J. M., Sommer, R., Stadler, H., Keiblinger, K. M., Hornek, R., ... Farnleitner, A. H. (2008). Quantitative microbial faecal source tracking with sampling guided by hydrological catchment dynamics. *Environmental Microbiology*. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2008.01682.x>
- Restrepo, J. D., & Syvitski, J. P. M. (2006). Assessing the effect of natural controls and land use change on sediment yield in a major Andean River: The Magdalena Drainage Basin, Colombia. *Ambio*. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2006\)35\[65:ATEONC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2006)35[65:ATEONC]2.0.CO;2)
- Ritter, W. F., & Shirmohamaddi, A. (2001). *Agricultural Nonpoint Source Pollution: Watershed Management and Hydrology*. Boca Raton, USA: Lewis Publiser.
- Ruiz, D. M., Martínez Idrobo, J. P., Otero Sarmiento, J. D., & Figueroa Casas, A. (2017). Effects of productive activities on the water quality for human consumption in an

- Andean basin, a case study. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*.
<https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.03.01>
- Ruiz, D., Moreno, H. A., Gutiérrez, M. E., & Zapata, P. A. (2008). Changing climate and endangered high mountain ecosystems in Colombia. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.02.038>
- Ruiz O., D. M., Martinez, J. P., & Figueroa, A. (2015). Agricultura sostenible en ecosistemas de alta montaña. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(13\)129-138](https://doi.org/10.18684/bsaa(13)129-138)
- RUNDLE, S. D., JENKINS, A., & ORMEROD, S. J. (1993). Macroinvertebrate communities in streams in the Himalaya, Nepal. *Freshwater Biology*.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1993.tb00797.x>
- Sarmiento, L. (2000). Water Balance and Soil Loss Under Long Fallow Agriculture in the Venezuelan Andes. *Mountain Research and Development*.
[https://doi.org/10.1659/0276-4741\(2000\)020\[0246:wbaslu\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1659/0276-4741(2000)020[0246:wbaslu]2.0.co;2)
- Shunthirasingham, C., Gouin, T., Lei, Y. D., Ruepert, C., Castillo, L. E., & Wania, F. (2011). Current-use pesticide transport to Costa Rica's high-altitude tropical cloud forest. *Environmental Toxicology and Chemistry*. <https://doi.org/10.1002/etc.671>
- Suescún, D., Villegas, J. C., León, J. D., Flórez, C. P., García-Leoz, V., & Correa-Londoño, G. A. (2017). Vegetation cover and rainfall seasonality impact nutrient loss via runoff and erosion in the Colombian Andes. *Regional Environmental Change*. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1071-7>
- Taniwaki, R. H., Cassiano, C. C., Fransozi, A. A., Vásquez, K. V., Posada, R. G., Velásquez, G. V., & Ferraz, S. F. B. (2019). Effects of land-use changes on structural

- characteristics of tropical high-altitude Andean headwater streams. *Limnologica*.
<https://doi.org/10.1016/j.limno.2018.10.002>
- Tietze, M. K., Wuestefeld, T., Paul, Y., Zender, L., Trautwein, C., Manns, M. P., & Kubicka, S. (2002). Soil erosion under different vegetation covers in the Venezuelan Andes. *Environmentalist*. <https://doi.org/10.1023/A:1015389918416>
- Weigand, E., Pelikan, U., Ratschan, C., & Scheder, C. (2002). A hydrological and ecological evaluation of the effects of pastoralism and silviculture on the spring water in KalKalpen Nationalpark (Austria). *Revue de Geographie Alpine*.
<https://doi.org/10.3406/rga.2002.3083>
- Wen, Y., Schoups, G., & Van De Giesen, N. (2017). Organic pollution of rivers: Combined threats of urbanization, livestock farming and global climate change. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/srep43289>
- Xia, X., Li, S., Wang, F., Zhang, S., Fang, Y., Li, J., ... Zhang, L. (2019). Triple oxygen isotopic evidence for atmospheric nitrate and its application in source identification for river systems in the Qinghai-Tibetan Plateau. *Science of the Total Environment*.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.204>
- Zia, H., Harris, N. R., Merrett, G. V., Rivers, M., & Coles, N. (2013). The impact of agricultural activities on water quality: A case for collaborative catchment-scale management using integrated wireless sensor networks. *Computers and Electronics in Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.05.001>

Apéndices

Apéndice A. Montañas del mundo

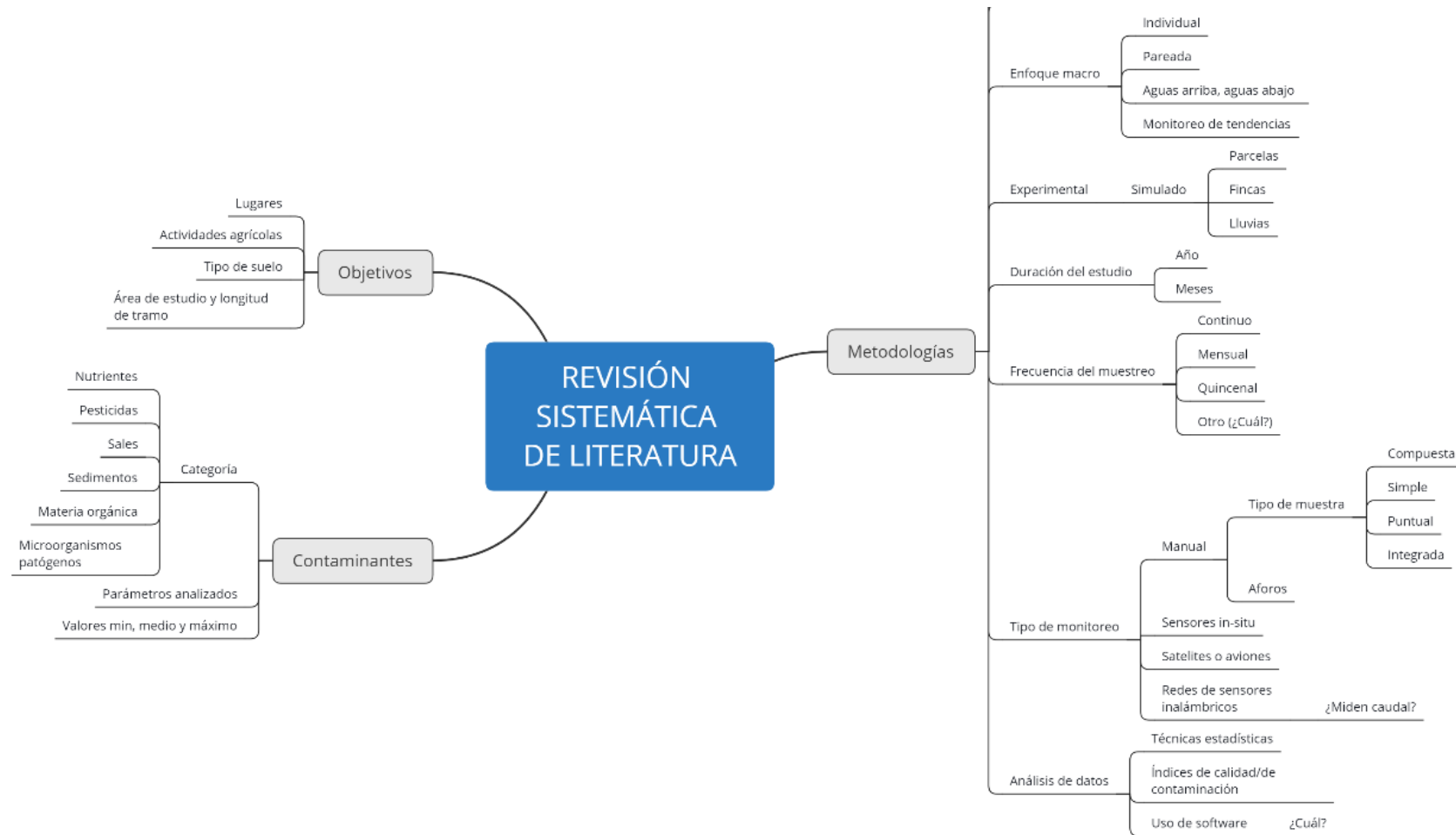


Montañas del mundo de acuerdo con la clasificación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - Centro de Monitoreo de la Conservación del Ambiente (UNEP-WCMC), FAO, *Mapping the vulnerability of mountain peoples to food insecurity*, Romeo, R., Rome, 2015

Apéndice B. Ecuaciones de búsqueda utilizadas y resultados obtenidos

Criterio de Búsqueda	Ecuación de Búsqueda	Resultados netos	Incluidos
Nutrientes	Water AND (agriculture OR crops OR cattle OR livestock OR tillage OR aquaculture) AND ("high altitude" OR "high mountain" OR paramo OR andes OR alps OR alpine OR kilimanjaro) AND ("non point source" OR "nonpoint source" OR "diffuse pollution") AND (nutrients OR phosphorus OR nitrogen OR nitrate OR ammonia OR eutrophication OR chlorophylla)	373	199
Pesticidas	Water AND (agriculture OR crops OR cattle OR livestock OR tillage OR aquaculture) AND ("high altitude" OR "high mountain" OR paramo OR andes OR alps OR alpine OR kilimanjaro) AND ("non point source" OR "nonpoint source" OR "diffuse pollution") AND (pesticides OR herbicides OR insecticides OR fungicides OR bactericides OR organophosphates OR carbamates OR pyrethroids OR "organochlorine pesticides")	48	27
Patógenos	Water AND (agriculture OR crops OR cattle OR livestock OR tillage OR aquaculture) AND ("high altitude" OR "high mountain" OR paramo OR andes OR alps OR alpine OR kilimanjaro) AND ("non point source" OR "nonpoint source" OR "diffuse pollution") AND (pathogens OR "escherichia coli" OR "total coliforms" OR "faecal coliforms" OR enterococci)	32	17
Materia orgánica	Water AND (agriculture OR crops OR cattle OR livestock OR tillage OR aquaculture) AND ("high altitude" OR "high mountain" OR paramo OR andes OR alps OR alpine OR kilimanjaro) AND ("non point source" OR "nonpoint source" OR "diffuse pollution") AND (sediments OR "suspended solids" OR erosion)	67	27
Sedimentos	Water AND (agriculture OR crops OR cattle OR livestock OR tillage OR aquaculture) AND ("high altitude" OR "high mountain" OR paramo OR andes OR alps OR alpine OR kilimanjaro) AND ("non point source" OR "nonpoint source" OR "diffuse pollution") AND ("organic matter" OR DQO OR DBO)	213	97
Sales	(water OR "water quality") AND (assessment OR assessing OR modeling OR monitoring) AND (agriculture OR crops OR cattle OR livestock OR tillage OR aquaculture) AND ("high altitude" OR "high mountain" OR paramo OR andes OR alps OR alpine OR kilimanjaro) AND ("non point source" OR "nonpoint source" OR "diffuse pollution")	156	44
Estudios generales sobre contaminación difusa	Water AND (agriculture OR crops OR cattle OR livestock OR tillage OR aquaculture) AND ("high altitude" OR "high mountain" OR paramo OR andes OR alps OR alpine OR kilimanjaro) AND ("non point source" OR "nonpoint source" OR "diffuse pollution") AND (salts OR sodium OR chloride OR potassium OR magnesium OR sulphate OR calcium OR bicarbonate OR "dissolved solids" OR conductivity OR "electric conductivity")	138	22

Apéndice C. Mapa de información a extraer de las investigaciones



Apéndice D. Información general de las publicaciones seleccionadas.

Título del artículo	Año de publicación	Revista de publicación	País de publicación	Palabras clave
Cattle raising influence over the aquatic macroinvertebrates in microbasins of central Andes, Colombia (Ramírez, Yuly Paulina; Giraldo, Lina Paola; Zúñiga, María Del Carmen; Ramos, Blanca Cecilia; Chará, Julián)	2018	Revista de Biología Tropical	Colombia	Benthos; Microbasins; Riparian corridors; Water quality
Vegetation cover and rainfall seasonality impact nutrient loss via runoff and erosion in the Colombian Andes (Suescún, Diego; Villegas, Juan Camilo; León, Juan Diego; Flórez, Claudia P. ; García-Leoz, Vanessa; Correa-Londoño, Guillermo A.)	2017	Springer	Colombia	Agricultural crops; Colombian Andes; Ecosystem services; Environmental change; Nutrient cycling; Pasturelands; Regulation functions
Effects of productive activities on the water quality for human consumption in an Andean basin, a case study (Ruiz, Diana Marcela; Martínez Idrobo, Juan Pablo; Otero Sarmiento, Juan Diego; Figueroa Casas, Apolinar)	2017	Revista Internacional de Contaminación Ambiental	Colombia	Agriculture; Biodiversity; Drinking water; Spatial crop distribution; Water pollution
Loss of soil and nutrients by surface runoff in two agro-ecosystems within an Andean paramo area (Otero, J. D.; Figueroa, A.; Muñoz, F. A.; Peña, M. R.)	2011	Ecological Engineering	Colombia	Agro-ecosystems; Nutrients; Paramo; Soil particles; Surface runoff
Stream chemistry in the middle hills and high mountains of the Himalayas, Nepal (Jenkins, Alan; Sloan, William T.; Cosby, B. Jack)	1995	Journal of Hydrology	Nepal	
Nutrient and sediment retention in Andean raised-field agriculture (Carney, Heath J.; Binford, Michael W.; Kolata, Alan L.; Marin, Ruben R.; Goldman, Charles R)	1993	Letter to Nature Journal	Bolivia	

Título del artículo	Año de publicación	Revista de publicación	País de publicación	Palabras clave
An integrated spatial snap-shot monitoring method for identifying seasonal changes and spatial changes in surface water quality (Chittoor Viswanathan, Vidhya; Jiang, Yongjun; Berg, Michael; Hunkeler, Daniel; Schirmer, Mario)	2016	Journal of Hydrology	Suiza	Catchment monitoring method; Nitrate isotopes; Nutrient loads; River; Water isotopes; Water quality
A hydrological and ecological evaluation of the effects of pastoralism and silviculture on the spring water in KalKalpen Nationalpark (Austria) (Weigand, Erich; Pelikan, Ulrich; Ratschan, Clemens; Scheder, Christian)	2002	Journal of Alpine Research	Austria	Alm- und Forstwirtschaft; Karstquellen; Krenal; Limnologie; Nationalpark Kalkalpen; Zoobenthos
Pollution in lago de tota, colombia: Acute toxicity on daphnia magna (cladocera: Daphniidae) and hydra attenuata (hydroida: Hydridae) (Barrera, H. July Andrea; Espinosa, R. Adriana Janneth; Álvarez, S. Juan Pablo)	2019	Revista de Biología Tropical	Colombia	Daphnia magna; Hydra attenuata; Lago de Tota; Pesticides; Sediments
Evaluation of pesticide movement towards tota lake catchment, Colombia (Mojica, Andrea; Guerrero, Jairo A.)	2013	Revista Colombiana de Química	Colombia	Catchment; Lake tota; Pesticides; Runoff; Sediments; Surface water
Current-use pesticide transport to Costa Rica's high-altitude tropical cloud forest (Shunthirasingham, Chubashini; Gouin, Todd; Lei, Ying D.; Ruepert, Clemens; Castillo, Luisa E.; Wania, Frank)	2011	Enviromental toxicology and Chemistry	Costa Rica	Atmospheric transport; Mountain cold trapping; Pesticides; Tropical cloud forest
Escherichia coli and enterococci are sensitive and reliable indicators for human, livestock and wildlife faecal pollution in alpine mountainous water resources (Farnleitner, A. H.; Ryzinska-Paier, G.; Reischer, G. H.; Burtscher, M. M.; Knetsch, S.; Kirschner, A. K.T.; Dirnböck, T.; Kuschnig, G.; Mach, R. L.; Sommer, R.)	2010	Journal of Applied Microbiology	Austria	Clostridium perfringens; Enterococci; Escherichia coli; General faecal pollution indicators; Microbial source tracking marker; Water quality monitoring
Coliform bacteria in Sierra Nevada wilderness lakes and streams: What is the impact of backpackers, pack animals, and cattle? (Derlet, Robert W.; Carlson, James R.)	2006	Wilderness and enviromental medicine	Estados Unidos	Escherichia coli; Kings Canyon National Park; Sierra Nevada; Water; Yosemite National Park

Título del artículo	Año de publicación	Revista de publicación	País de publicación	Palabras clave
Assessment of the effect of season and location on microbiological and physicochemical quality of livestock drinking water in Ginchi watershed, Ethiopia (Duguma, Belay; Tegegne, Azage; Hegde, B. P.)	2012	Global veterinaria	Etiopia	Coliforms; Domestic; Livestock; Microbiological; Physicochemical; Water
Comparative study of enteric viruses, coliphages and indicator bacteria for evaluating water quality in a tropical high-altitude system (Espinosa, Ana C.; Arias, Carlos F.; Snchez-Colán, Salvador; Mazari-Hiriart, Marisa)	2009	Enviromental health Journal	Mexico	
Water and sediment transport modeling of a large temporary river basin in Greece (Gamvroudis, C.; Nikolaidis, N. P.; Tzoraki, O.; Papadoulakis, V.; Karalemas, N.)	2015	Science of total Environment	Grecia	Mediterranean; SWAT; Sediment yield; Suspended sediment transport; Temporary rivers; Water yield
Assessing the effect of natural controls and land use change on sediment yield in a major Andean River: The Magdalena Drainage Basin, Colombia (Restrepo, Juan Darío; Syvitski, James P.M.)	2006	AMBIO: A Journal of the Human Environment	Colombia	
Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Páramo: Effect of tillage and burning (Poulenard, Jérôme; Podwojewski, Pascal; Janeau, Jean Louis; Collinet, Jean)	2001	CATENA	Ecuador	Andisols; Ecuador; Erosion; Land use change; Páramo; Runoff; Water repellency
Macroinvertebrate communities in streams in the Himalaya, Nepal (Rundel, Simon D.; Jenkins, Alan; Ormerod, S. J.)	1993	Freshwater Biology	Nepal	
Assessment of potential contamination of Paramo soil and downstream water supplies in a coal-mining region of Colombia (González-Martínez, María Daniela; Huguet, Carme; Pearse, Jillian; McIntyre, Neil; Camacho, Luis Alejandro)	2019	Applied Geochemistry	Colombia	Coal mining; Environmental impact; Paramo; Soils; Water quality

Título del artículo	Año de publicación	Revista de publicación	País de publicación	Palabras clave
Soil erosion under different vegetation covers in the Venezuelan Andes (Tietze, Maja Katrin; Wuestefeld, Torsten; Paul, Yasmin; Zender, Lars; Trautwein, Christian; Manns, Michael Peter; Kubicka, Stefan)	2002	The Environmentalist	Venezuela	Land degradation; Land use; Soil erosion; Tropical Andes; Venezuela
Water balance and soil loss under long fallow agriculture in the Venezuelan Andes (Sarmiento, Lina)	2000	Mountain Research and Development	Venezuela	Water balance; runoff; drainage; soil moisture; soil loss; páramo; potato; Andes; Venezuela.
Spatial prediction of stream physicochemical parameters for the Napo River Basin, Ecuador (Alexiades, Alexander V.; Encalada, Andrea C.; Lessmann, Janeth; Guayasamin, Juan M.)	2019	Journal of freshwater Ecology	Ecuador	Top-kriging; environmental modelling; interpolation; stream ecology; tropical rivers; water quality
Utility of multivariate statistical analysis to identify factors contributing river water quality in two different seasons in cold-arid high-altitude region of Leh-Ladakh, India (Giri, Arup; Bharti, Vijay K.; Kalia, Sahil; Kumar, Krishna; Raj, Tilak; Chaurasia, O. P.)	2019	Applied Water Science	India	High altitude; Indus River; Multivariate statistical analysis; Water quality
Triple oxygen isotopic evidence for atmospheric nitrate and its application in source identification for river systems in the Qinghai-Tibetan Plateau (Xia, Xinghui; Li, Siling; Wang, Fan; Zhang, Sibao; Fang, Yunting; Li, Jianghanyang; Michalski, Greg; Zhang, Liwei)	2019	Science of total Environment	China	Atmospheric nitrate; Nitrate source; SIAR; The Qinghai-Tibetan Plateau; $\Delta^{17}\text{O}$; $\delta^{15}\text{N}$
Effects of land-use changes on structural characteristics of tropical high-altitude Andean headwater streams (Taniwaki, Ricardo H.; Cassiano, Carla C.; Fransozi, Aline A.; Vásquez, Katherine V.; Posada, Raul G.; Velásquez, Guillermo V., Ferraz, Silvio F.B.)	2019	Limnologica	Colombia	Eucalyptus conversion; Land-use change; Pasture conversion; Rapid bioassessment protocols; Tropical streams
Contribution of a tributary stream to eutrophication of Lake Tota (Boyacá, Colombia) (Johanna P. Abella G., María J. Martínez C)	2012	Revista Colombiana de Química	Colombia	eutrophication, nitrates, nitrites, phosphorous, crop growth, Lake Tota

Apéndice E. Características del área de estudio de las publicaciones seleccionadas.

Título del artículo	Zona de estudio	Altitud (msnm)	Uso del suelo				Área de estudio	Longitud del tramo
			1	2	3	4		
Cattle raising influence over the aquatic macroinvertebrates in microbasins of central Andes, Colombia (Ramírez, Yuly Paulina; Giraldo, Lina Paola; Zúñiga, María Del Carmen; Ramos, Blanca Cecilia; Chará, Julián; 2018)	Cuenca del río Chinchiná, Villamaría (Caldas, Colombia)	2400		x				100 m
Vegetation cover and rainfall seasonality impact nutrient loss via runoff and erosion in the Colombian Andes (Suescún, Diego; Villegas, Juan Camilo; León, Juan Diego; Flórez, Claudia P. ; García-Leoz, Vanessa; Correa-Londoño, Guillermo A.; 2017)	Cuenca Río Grande, Colombia	2800		x	x		20 m2	
Effects of productive activities on the water quality for human consumption in an Andean basin, a case study (Ruiz, Diana Marcela; Martínez Idrobo, Juan Pablo; Otero Sarmiento, Juan Diego; Figueroa Casas, Apolinar; 2017)	Cuenca del río Las Piedras, Cauca, Colombia	1980-3820		x	x		6626 ha	
Loss of soil and nutrients by surface runoff in two agro-ecosystems within an Andean paramo area (Otero, J. D.; Figueroa, A.; Muñoz, F. A.; Peña, M. R.; 2011)	Purace, Cauca, Colombia	3260		x	x		60 m2	
Stream chemistry in the middle hills and high mountains of the Himalayas, Nepal (Jenkins, Alan; Sloan, William T.; Cosby, B. Jack; 1995)	Himalaya medio y alto, Nepal	1000-3800			x			
Nutrient and sediment retention in Andean raised-field agriculture (Carney, Heath J.; Binford, Michael W.; Kolata, Alan L.; Marin, Ruben R.; Goldman, Charles R; 1993)	Vecindad de Tiwanaku, Cuenca del Lago Titicaca, Bolivia	3850			x			>3.5 km

Nota: Los usos del suelo están clasificados de la siguiente forma. 1=Agricultura, 2=Ganadería y pastoreo, 3=Cultivos, 4=Otros.

Título del artículo	Zona de estudio	Altitud (msnm)	Uso del suelo				Área de estudio	Longitud del tramo
			1	2	3	4		
An integrated spatial snap-shot monitoring method for identifying seasonal changes and spatial changes in surface water quality (Chittoor Viswanathan, Vidhya; Jiang, Yongjun; Berg, Michael; Hunkeler, Daniel; Schirmer, Mario; 2016)	Cuenca de Thur, NE Suiza	356-2504	x	x			1696 km2	
Pollution in lago de tota, colombia: Acute toxicity on daphnia magna (cladocera: Daphniidae) and hydra attenuata (hydroida: Hydridae) (Barrera, H. July Andrea; Espinosa, R. Adriana Janneth; Álvarez, S. Juan Pablo; 2019)	Cuenca del Lago de Tota, Colombia	3048			x			
Evaluation of pesticide movement towards tota lake catchment, Colombia (Mojica, Andrea; Guerrero, Jairo A.; 2013)	Hato Laguna, Lago de Tota, Colombia	>3015			x		1 m2	
Current-use pesticide transport to Costa Rica's high-altitude tropical cloud forest (Shunthirasingham, Chubashini; Gouin, Todd; Lei, Ying D.; Ruepert, Clemens; Castillo, Luisa E.; Wania, Frank; 2011)	Volcán Poas y Barba, Costa Rica	2708-2906	x					
Escherichia coli and enterococci are sensitive and reliable indicators for human, livestock and wildlife faecal pollution in alpine mountainous water resources (Farnleitner, A. H.; Ryzinska-Paier, G.; Reischer, G. H.; Burtscher, M. M.; Knetsch, S.; Kirschner, A. K.T.; Dimböck, T.; Kuschnig, G.; Mach, R. L.; Sommer, R.; 2010)	Alpes Bávaros, Austria	650-2300 (1380)		x			100 km2	
Coliform bacteria in Sierra Nevada wilderness lakes and streams: What is the impact of backpackers, pack animals, and cattle? (Derlet, Robert W.; Carlson, James R.; 2006)	Sierra Nevada, California, USA	2000-4200		x				
Assessment of the effect of season and location on microbiological and physicochemical quality of livestock drinking water in Ginchi watershed, Ethiopia (Duguma, Belay; Tegegne, Azage; Hegde, B. P.; 2012)	Cuenca Ginchi, región de Oromia, Etiopía	2140-2800		x				

Nota: Los usos del suelo están clasificados de la siguiente forma. 1=Agricultura, 2=Ganadería y pastoreo, 3=Cultivos, 4=Otros.

Título del artículo	Zona de estudio	Altitud (msnm)	Uso del suelo				Área de estudio	Longitud del tramo
			1	2	3	4		
Comparative study of enteric viruses, coliphages and indicator bacteria for evaluating water quality in a tropical high-altitude system (Espinosa, Ana C.; Arias, Carlos F.; Snchez-Colán, Salvador; Mazari-Hiriart, Marisa; 2009)	Sur de la Ciudad de México, México	2240			x		1479 km ²	
Water and sediment transport modeling of a large temporary river basin in Greece (Gamvroudis, C.; Nikolaidis, N. P.; Tzoraki, O.; Papadoulakis, V.; Karalemas, N.; 2015)	Cuenca del Río Evrotas, Grecia	0-2404	x	x		x	3500 m ²	
A hydrological and ecological evaluation of the effects of pastoralism and silviculture on the spring water in KalKalten Nationalpark (Austria) (Weigand, Erich; Pelikan, Ulrich; Ratschan, Clemens; Scheder, Christian; 2002)	Parque Nacional Kalkapen, Alta Austria, Austria	370-2000		x		x		
Assessing the effect of natural controls and land use change on sediment yield in a major Andean River: The Magdalena Drainage Basin, Colombia (Restrepo, Juan Darío; Syvitski, James P.M.; 2006)	Cuenca del río Magdalena, Colombia	0-3685	x	x			55441 km ²	565 km
Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Páramo: Effect of tillage and burning (Poulenard, Jérôme; Podwojewski, Pascal; Janeau, Jean Louis; Collinet, Jean; 2001)	Pichincha, Quito, Ecuador- El ángel, Carchi, Ecuador	3600-4000		x	x		1 m ²	
Macroinvertebrate communities in streams in the Himalaya, Nepal (Rundel, Simon D.; Jenkins, Alan; Ormerod, S. J.; 1993)	Sistema de drenaje del Ganges, Nepal	1000-3800		x	x			
Assessment of potential contamination of Paramo soil and downstream water supplies in a coal-mining region of Colombia (González-Martínez, María Daniela; Huguet, Carme; Pearse, Jillian; McIntyre, Neil; Camacho, Luis Alejandro; 2019)	Lenguazaque, Cundinamarca, Colombia	2690-3500	x			x		
Soil erosion under different vegetation covers in the Venezuelan Andes (Tietze, Maja Katrin; Wuestefeld, Torsten; Paul, Yasmin; Zender, Lars; Trautwein, Christian; Manns, Michael Peter; Kubicka, Stefan; 2002)	Cuenca del río El Valle, Estado de Táchira, Venezuela	2250			x		193.5 m ²	

Nota: Los usos del suelo están clasificados de la siguiente forma. 1=Agricultura, 2=Ganadería y pastoreo, 3=Cultivos, 4=Otros.

Título del artículo	Zona de estudio	Altitud (msnm)	Uso del suelo				Área de estudio	Longitud del tramo
			1	2	3	4		
Water balance and soil loss under long fallow agriculture in the Venezuelan Andes (Sarmiento, Lina; 2000)	Páramo de Gavidia, Mérida, Venezuela	3200-4000		x	x		1000 m2	
Spatial prediction of stream physicochemical parameters for the Napo River Basin, Ecuador (Alexiades, Alexander V.; Encalada, Andrea C.; Lessmann, Janeth; Guayasamin, Juan M.; 2019)	Cuenca del río Napo, Ecuador	100-5500	x	x		x	79 km2	
Utility of multivariate statistical analysis to identify factors contributing river water quality in two different seasons in cold-arid high-altitude region of Leh-Ladakh, India (Giri, Arup; Bharti, Vijay K.; Kalia, Sahil; Kumar, Krishna; Raj, Tilak; Chaurasia, O. P.; 2019)	Leh, India	2300-5000				x		
Triple oxygen isotopic evidence for atmospheric nitrate and its application in source identification for river systems in the Qinghai-Tibetan Plateau (Xia, Xinghui; Li, Siling; Wang, Fan; Zhang, Sibao; Fang, Yunting; Li, Jianghanyang; Michalski, Greg; Zhang, Liwei; 2019)	Región de los ríos Yangtsé y Amarillo, China	>3000		x	x		137500 km2; 131400 km2	
Effects of land-use changes on structural characteristics of tropical high-altitude Andean headwater streams (Taniwaki, Ricardo H.; Cassiano, Carla C.; Fransozi, Aline A.; Vásquez, Katherine V.; Posada, Raul G.; Velásquez, Guillermo V., Ferraz, Silvio F.B.; 2019)	Santa Rosa de Cabal, Risaralda, Colombia	3730			x			200 m
Contribution of a tributary stream to eutrophication of Lake Tota (Boyacá, Colombia) (Johanna P. Abella G., María J. Martínez C; 2012)	Vereda Hato Laguna, cuenca del Lago de Tota, Colombia	>3015			x			

Nota: Los usos del suelo están clasificados de la siguiente forma. 1=Agricultura, 2=Ganadería y pastoreo, 3=Cultivos, 4=Otros

Apéndice F. Metodologías empleadas en las publicaciones seleccionadas.

Título del artículo	Metodología			
	Análisis Exploratorio	Cuencas pareadas	Aguas arriba/aguas abajo	Parcela Experimental
Cattle raising influence over the aquatic macroinvertebrates in microbasins of central Andes, Colombia (Ramírez, Yuly Paulina et. al; 2018)	x			
Vegetation cover and rainfall seasonality impact nutrient loss via runoff and erosion in the Colombian Andes (Suescún, Diego et. al.; 2017)				x
Effects of productive activities on the water quality for human consumption in an Andean basin, a case study (Ruiz, Diana M.; Martínez I., Juan P; Otero S., Juan D; Figueroa Casas, Apolinar; 2017)			x	x
Loss of soil and nutrients by surface runoff in two agro-ecosystems within an Andean paramo area (Otero, J. D.; Figueroa, A.; Muñoz, F. A.; Peña, M. R.; 2011)				x
Stream chemistry in the middle hills and high mountains of the Himalayas, Nepal (Jenkins, Alan; Sloan, William T.; Cosby, B. Jack; 1995)	x			
Nutrient and sediment retention in Andean raised-field agriculture (Carney, Heath J.; Binford, Michael W.; Kolata, Alan L.; Marin, Ruben R.; Goldman, Charles R; 1993)			x	
An integrated spatial snap-shot monitoring method for identifying seasonal changes and spatial changes in surface water quality (Chittoor Viswanathan, Vidhya; Jiang, Yongjun; Berg, Michael; Hunkeler, Daniel; Schirmer, Mario; 2016)			x	
A hydrological and ecological evaluation of the effects of pastoralism and silviculture on the spring water in KalKalten Nationalpark (Austria) (Weigand, Erich; Pelikan, Ulrich; Ratschan, Clemens; Scheder, Christian; 2002)		x		

Título del artículo	Metodología			
	Análisis Exploratorio	Cuencas pareadas	Aguas arriba/aguas abajo	Parcela Experimental
Pollution in lago de tota, colombia: Acute toxicity on daphnia magna (cladocera: Daphniidae) and hydra attenuata (hydroida: Hydridae) (Barrera, H. July Andrea; Espinosa, R. Adriana Janneth; Álvarez, S. Juan Pablo; 2019)	x			
Evaluation of pesticide movement towards tota lake catchment, Colombia (Mojica, Andrea; Guerrero, Jairo A.; 2013)			x	x
Current-use pesticide transport to Costa Rica's high-altitude tropical cloud forest (Shunthirasingham, Chubashini; Gouin, Todd; Lei, Ying D.; Ruepert, Clemens; Castillo, Luisa E.; Wania, Frank; 2011)	x			
Escherichia coli and enterococci are sensitive and reliable indicators for human, livestock and wildlife faecal pollution in alpine mountainous water resources (Farnleitner, A. H.; Ryzinska-Paier, G.; Reischer, G. H.; Burtscher, M. M.; Knetsch, S.; Kirschner, A. K.T.; Dirnböck, T.; Kuschnig, G.; Mach, R. L.; Sommer, R.; 2010)	x			
Coliform bacteria in Sierra Nevada wilderness lakes and streams: What is the impact of backpackers, pack animals, and cattle? (Derlet, Robert W.; Carlson, James R.; 2006)	x			
Assessment of the effect of season and location on microbiological and physicochemical quality of livestock drinking water in Ginchi watershed, Ethiopia (Duguma, Belay; Tegegne, Azage; Hegde, B. P.; 2012)			x	
Comparative study of enteric viruses, coliphages and indicator bacteria for evaluating water quality in a tropical high-altitude system (Espinosa, Ana C.; Arias, Carlos F.; Snchez-Colán, Salvador; Mazari-Hiriart, Marisa; 2009)	x			
Water and sediment transport modeling of a large temporary river basin in Greece (Gamvroudis, C.; Nikolaidis, N. P.; Tzoraki, O.; Papadoulakis, V.; Karalemas, N.; 2015)	x			

Título del artículo	Metodología			
	Análisis Exploratorio	Cuencas pareadas	Aguas arriba/aguas abajo	Parcela Experimental
Assessing the effect of natural controls and land use change on sediment yield in a major Andean River: The Magdalena Drainage Basin, Colombia (Restrepo, Juan Darío; Syvitski, James P.M.; 2006)			x	
Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Páramo: Effect of tillage and burning (Poulenard, Jérôme; Podwojewski, Pascal; Janeau, Jean Louis; Collinet, Jean; 2001)				x
Macroinvertebrate communities in streams in the Himalaya, Nepal (Rundel, Simon D.; Jenkins, Alan; Ormerod, S. J.; 1993)	x			
Assessment of potential contamination of Paramo soil and downstream water supplies in a coal-mining region of Colombia (González-Martínez, María Daniela; Huguet, Carme; Pearse, Jillian; McIntyre, Neil; Camacho, Luis Alejandro; 2019)	x			
Soil erosion under different vegetation covers in the Venezuelan Andes (Tietze, Maja Katrin; et. al; 2002)				x
Water balance and soil loss under long fallow agriculture in the Venezuelan Andes (Sarmiento, Lina; 2000)				x
Spatial prediction of stream physicochemical parameters for the Napo River Basin, Ecuador (Alexiades, Alexander V.; Encalada, Andrea C.; Lessmann, Janeth; Guayasamin, Juan M.; 2019)	x			
Utility of multivariate statistical analysis to identify factors contributing river water quality in two different seasons in cold-arid high-altitude region of Leh-Ladakh, India (Giri, Arup; Bharti, Vijay K.; Kalia, Sahil; Kumar, Krishna; Raj, Tilak; Chaurasia, O. P.; 2019)	x			
Triple oxygen isotopic evidence for atmospheric nitrate and its application in source identification for river systems in the Qinghai-Tibetan Plateau (Xia, Xinghui; Li, Siling; Wang, Fan; Zhang, Sibao; Fang, Yunting; Li, Jianghanyang; Michalski, Greg; Zhang, Liwei; 2019)	x			

Título del artículo	Metodología			
	Análisis Exploratorio	Cuencas pareadas	Aguas arriba/aguas abajo	Parcela Experimental
Effects of land-use changes on structural characteristics of tropical high-altitude Andean headwater streams (Taniwaki, Ricardo H.; Cassiano, Carla C.; Fransozi, Aline A.; Vásquez, Katherine V.; Posada, Raul G.; Velásquez, Guillermo V., Ferraz, Silvio F.B.; 2019)		x		
Contribution of a tributary stream to eutrophication of Lake Tota (Boyacá, Colombia) (Johanna P. Abella G., María J. Martínez C; 2012)	x		x	

Apéndice G. Categorías de contaminantes estudiados por las publicaciones seleccionadas.

Título del artículo	Categorías de contaminantes					
	Nutrientes	Pesticidas	Patógenos	MO	Sales	Sedimentos
Cattle raising influence over the aquatic macroinvertebrates in microbasins of central Andes, Colombia (Ramírez, Yuly Paulina; Giraldo, Lina Paola; Zúñiga, María Del Carmen; Ramos, Blanca Cecilia; Chará, Julián; 2018)	x		x	x		x
Vegetation cover and rainfall seasonality impact nutrient loss via runoff and erosion in the Colombian Andes (Suescún, Diego; Villegas, Juan Camilo; León, Juan Diego; Flórez, Claudia P. ; García-Leoz, Vanessa; Correa-Londoño, Guillermo A.; 2017)	x				x	
Effects of productive activities on the water quality for human consumption in an Andean basin, a case study (Ruiz, Diana Marcela; Martínez Idrobo, Juan Pablo; Otero Sarmiento, Juan Diego; Figueroa Casas, Apolinar; 2017)	x					
Loss of soil and nutrients by surface runoff in two agro-ecosystems within an Andean paramo area (Otero, J. D.; Figueroa, A.; Muñoz, F. A.; Peña, M. R.; 2011)	x					x
Stream chemistry in the middle hills and high mountains of the Himalayas, Nepal (Jenkins, Alan; Sloan, William T.; Cosby, B. Jack; 1995)	x				x	x
Nutrient and sediment retention in Andean raised-field agriculture (Carney, Heath J.; Binford, Michael W.; Kolata, Alan L.; Marin, Ruben R.; Goldman, Charles R; 1993)	x					
An integrated spatial snap-shot monitoring method for identifying seasonal changes and spatial changes in surface water quality (Chittoor Viswanathan, et. al; 2016)	x				x	

Título del artículo	Categorías de contaminantes					
	Nutrientes	Pesticidas	Patógenos	MO	Sales	Sedimentos
A hydrological and ecological evaluation of the effects of pastoralism and silviculture on the spring water in KalKalpen Nationalpark (Austria) (Weigand, Erich; Pelikan, Ulrich; Ratschan, Clemens; Scheder, Christian; 2002)	x		x		x	
Pollution in lago de tota, colombia: Acute toxicity on daphnia magna (cladocera: Daphniidae) and hydra attenuata (hydroida: Hydridae) (Barrera, H. July Andrea; Espinosa, R. Adriana Janneth; Álvarez, S. Juan Pablo; 2019)	x					
Evaluation of pesticide movement towards tota lake catchment, Colombia (Mojica, Andrea; Guerrero, Jairo A.; 2013)		x				
Current-use pesticide transport to Costa Rica's high-altitude tropical cloud forest (Shunthirasingham, Chubashini; Gouin, Todd; Lei, Ying D.; Ruepert, Clemens; Castillo, Luisa E.; Wania, Frank; 2011)		x				
Escherichia coli and enterococci are sensitive and reliable indicators for human, livestock and wildlife faecal pollution in alpine mountainous water resources (Farnleitner, A. H.; Ryzinska-Paier, G.; Reischer, G. H.; Burtscher, M. M.; Knetsch, S.; Kirschner, A. K.T.; Dirnböck, T.; Kuschnig, G.; Mach, R. L.; Sommer, R.; 2010)			x			
Coliform bacteria in Sierra Nevada wilderness lakes and streams: What is the impact of backpackers, pack animals, and cattle? (Derlet, Robert W.; Carlson, James R.; 2006)			x			
Assessment of the effect of season and location on microbiological and physicochemical quality of livestock drinking water in Ginchi watershed, Ethiopia (Duguma, Belay; Tegegne, Azage; Hegde, B. P.; 2012)	x		x		x	x
Comparative study of enteric viruses, coliphages and indicator bacteria for evaluating water quality in a tropical high-altitude system (Espinosa, Ana C.; et al. 2009)			x			

Título del artículo	Categorías de contaminantes					
	Nutrientes	Pesticidas	Patógenos	MO	Sales	Sedimentos
Water and sediment transport modeling of a large temporary river basin in Greece (Gamvroudis, C.; Nikolaidis, N. P.; Tzoraki, O.; Papadoulakis, V.; Karalemas, N.; 2015)						x
Assessing the effect of natural controls and land use change on sediment yield in a major Andean River: The Magdalena Drainage Basin, Colombia (Restrepo, Juan Darío; Syvitski, James P.M.; 2006)						x
Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Páramo: Effect of tillage and burning (Poulenard, Jérôme; Podwojewski, Pascal; Janeau, Jean Louis; Collinet, Jean; 2001)						x
Macroinvertebrate communities in streams in the Himalaya, Nepal (Rundel, Simon D.; Jenkins, Alan; Ormerod, S. J.; 1993)					x	
Assessment of potential contamination of Paramo soil and downstream water supplies in a coal-mining region of Colombia (González-Martínez, María Daniela; Huguet, Carme; Pearse, Jillian; McIntyre, Neil; Camacho, Luis Alejandro; 2019)						x
Soil erosion under different vegetation covers in the Venezuelan Andes (Tietze, Maja Katrin; Wuestefeld, Torsten; Paul, Yasmin; Zender, Lars; Trautwein, Christian; Manns, Michael Peter; Kubicka, Stefan; 2002)						x
Water balance and soil loss under long fallow agriculture in the Venezuelan Andes (Sarmiento, Lina; 2000)						x
Spatial prediction of stream physicochemical parameters for the Napo River Basin, Ecuador (Alexiades, Alexander V.; Encalada, Andrea C.; Lessmann, Janeth; Guayasamin, Juan M.; 2019)	x				x	

Título del artículo	Categorías de contaminantes					
	Nutrientes	Pesticidas	Patógenos	MO	Sales	Sedimentos
Utility of multivariate statistical analysis to identify factors contributing river water quality in two different seasons in cold-arid high-altitude region of Leh-Ladakh, India (Giri, Arup; Bharti, Vijay K.; Kalia, Sahil; Kumar, Krishna; Raj, Tilak; Chaurasia, O. P.; 2019)	x		x	x	x	x
Triple oxygen isotopic evidence for atmospheric nitrate and its application in source identification for river systems in the Qinghai-Tibetan Plateau (Xia, Xinghui; Li, Siling; Wang, Fan; Zhang, Sibao; Fang, Yunting; Li, Jianghanyang; Michalski, Greg; Zhang, Liwei; 2019)	x					
Effects of land-use changes on structural characteristics of tropical high-altitude Andean headwater streams (Taniwaki, Ricardo H.; Cassiano, Carla C.; Fransozi, Aline A.; Vásquez, Katherine V.; Posada, Raul G.; Velásquez, Guillermo V., Ferraz, Silvio F.B.; 2019)	x					
Contribution of a tributary stream to eutrophication of Lake Tota (Boyacá, Colombia) (Johanna P. Abella G., María J. Martínez C; 2012)	x			x		

Apéndice H. Pruebas estadísticas aplicadas en las publicaciones seleccionadas

Título del artículo	Pruebas estadísticas	
	Univariantes	Multivariantes
Effects of productive activities on the water quality for human consumption in an Andean basin, a case study (Ruiz, Diana M.; Martínez I., Juan P.; Otero S., Juan D; Figueroa C, Apolinar; 2017)	Pruebas Kruskall Wallis y Mann Whitney U	Análisis multivariado
Loss of soil and nutrients by surface runoff in two agro-ecosystems within an Andean paramo area (Otero, J. D.; Figueroa, A.; Muñoz, F. A.; Peña, M. R.; 2011)	Estadística descriptiva	
Stream chemistry in the middle hills and high mountains of the Himalayas, Nepal (Jenkins, Alan; Sloan, William T.; Cosby, B. Jack; 1995)	Estadística descriptiva	
Nutrient and sediment retention in Andean raised-field agriculture (Carney, Heath J.; Binford, Michael W.; Kolata, Alan L.; Marin, Ruben R.; Goldman, Charles R; 1993)	Fisher PSLD, Scheffe F-tests, ANOVA y Estadística descriptiva	
An integrated spatial snap-shot monitoring method for identifying seasonal changes and spatial changes in surface water quality (Chittoor Viswanathan, Vidhya; Jiang, Yongjun; Berg, Michael; Hunkeler, Daniel; Schirmer, Mario; 2016)	Estadística descriptiva	
Pollution in lago de tota, colombia: Acute toxicity on daphnia magna (cladocera: Daphniidae) and hydra attenuata (hydroida: Hydridae) (Barrera, H. July Andrea; Espinosa, R. Adriana Janneth; Álvarez, S. Juan Pablo; 2019)	Shapiro Wilk y Kruskall Wallis	Análisis de componentes principales (PCA)
Evaluation of pesticide movement towards tota lake catchment, Colombia (Mojica, Andrea; Guerrero, Jairo A.; 2013)	Estadística descriptiva	
Current-use pesticide transport to Costa Rica's high-altitude tropical cloud forest (Shunthirasingham, Chubashini; Gouin, Todd; Lei, Ying D.; Ruepert, Clemens; Castillo, Luisa E.; Wania, Frank; 2011)	Estadística descriptiva	
Escherichia coli and enterococci are sensitive and reliable indicators for human, livestock and wildlife faecal pollution in alpine mountainous water resources (Farnleitner, A. H.; et. al.; 2010)	Prueba de Bonferroni	
Coliform bacteria in Sierra Nevada wilderness lakes and streams: What is the impact of backpackers, pack animals, and cattle? (Derlet, Robert W.; Carlson, James R.; 2006)	Estadística descriptiva	Prueba de Fisher

Título del artículo	Pruebas estadísticas	
	Univariantes	Multivariantes
Assessment of the effect of season and location on microbiological and physicochemical quality of livestock drinking water in Ginchi watershed, Ethiopia (Duguma, Belay; Tegegne, Azage; Hegde, B. P.; 2012)	Estadística descriptiva y paired sample T-test	
Comparative study of enteric viruses, coliphages and indicator bacteria for evaluating water quality in a tropical high-altitude system (Espinosa, Ana C.; Arias, Carlos F.; Snchez-Colán, Salvador; Mazari-Hiriart, Marisa; 2009)	Distribución de Bernoulli y de Poisson, Two-way ANOVA	Logit y Loglinear
Assessing the effect of natural controls and land use change on sediment yield in a major Andean River: The Magdalena Drainage Basin, Colombia (Restrepo, Juan Darío; Syvitski, James P.M.; 2006)	Análisis estadísticos estándar	
Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Páramo: Effect of tillage and burning (Poulenard, Jérôme; Podwojewski, Pascal; Janeau, Jean Louis; Collinet, Jean; 2001)	Estadística descriptiva	
Macroinvertebrate communities in streams in the Himalaya, Nepal (Rundel, Simon D.; Jenkins, Alan; Ormerod, S. J.; 1993)	Oneway ANOVA y pruebas de Turkey Kramer	Análisis de componentes principales (PCA)
Assessment of potential contamination of Paramo soil and downstream water supplies in a coal-mining region of Colombia (González-Martínez, María Daniela; Huguet, Carme; Pearse, Jillian; McIntyre, Neil; Camacho, Luis Alejandro; 2019)	Estadística descriptiva	
Soil erosion under different vegetation covers in the Venezuelan Andes (Tietze, Maja Katrin; Wuestefeld, Torsten; Paul, Yasmin; Zender, Lars; Trautwein, Christian; Manns, Michael Peter; Kubicka, Stefan; 2002)	Estadística descriptiva, Two-way ANOVA y Turkey Kramer	
Water balance and soil loss under long fallow agriculture in the Venezuelan Andes (Sarmiento, Lina; 2000)	Análisis estadísticos estándar	
Utility of multivariate statistical analysis to identify factors contributing river water quality in two different seasons in cold-arid high-altitude region of Leh-Ladakh, India (Giri, Arup; Bharti, Vijay K.; Kalia, Sahil; Kumar, Krishna; Raj, Tilak; Chaurasia, O. P.; 2019)	Análisis estadísticos estándar	Análisis de componentes principales (PCA)

Título del artículo	Pruebas estadísticas	
	Univariantes	Multivariantes
Effects of land-use changes on structural characteristics of tropical high-altitude Andean headwater streams (Taniwaki, Ricardo H.; Cassiano, Carla C.; Franzozi, Aline A.; Vásquez, Katherine V.; Posada, Raul G.; Velásquez, Guillermo V., Ferraz, Silvio F.B.; 2019)	Análisis estadísticos estándar	Análisis de varianza permutacional multivariado (PERMANOVA) y Análisis de componentes principales (PCA)
Contribution of a tributary stream to eutrophication of Lake Tota (Boyacá, Colombia) (Johanna P. Abella G., María J. Martínez C; 2012)	Estadística descriptiva	

Título del artículo	Pruebas estadísticas	Índices
	Análisis de Correlación	
Effects of productive activities on the water quality for human consumption in an Andean basin, a case study (Ruiz, Diana Marcela; Martínez Idrobo, Juan Pablo; Otero Sarmiento, Juan Diego; Figueroa Casas, Apolinar; 2017)		ICOSUS, ICOMO
Evaluation of pesticide movement towards tota lake catchment, Colombia (Mojica, Andrea; Guerrero, Jairo A.; 2013)		PIRI
Escherichia coli and enterococci are sensitive and reliable indicators for human, livestock and wildlife faecal pollution in alpine mountainous water resources (Farnleitner, A. H.; Ryzinska-Paier, G.; Reischer, G. H.; Burtscher, M. M.; Knetsch, S.; Kirschner, A. K.T.; Dirnböck, T.; Kuschnig, G.; Mach, R. L.; Sommer, R.; 2010)	Coeficiente de correlación de Spearman	
Soil erosion under different vegetation covers in the Venezuelan Andes (Tietze, Maja Katrin; Wuestefeld, Torsten; Paul, Yasmin; Zender, Lars; Trautwein, Christian; Manns, Michael Peter; Kubicka, Stefan; 2002)	Análisis de correlación	

Apéndice I. Dinámica de publicación de los continentes a través del tiempo

CONTINENTE/ AÑO	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
América	1							1	1	1				2			1		2	1	1				2	1	4
Asia	1		1																								2
África																				1							
Europa										1								1					1	1			
Oceanía																											

..

Apéndice J. Dinámica de publicación de los continentes a través del tiempo

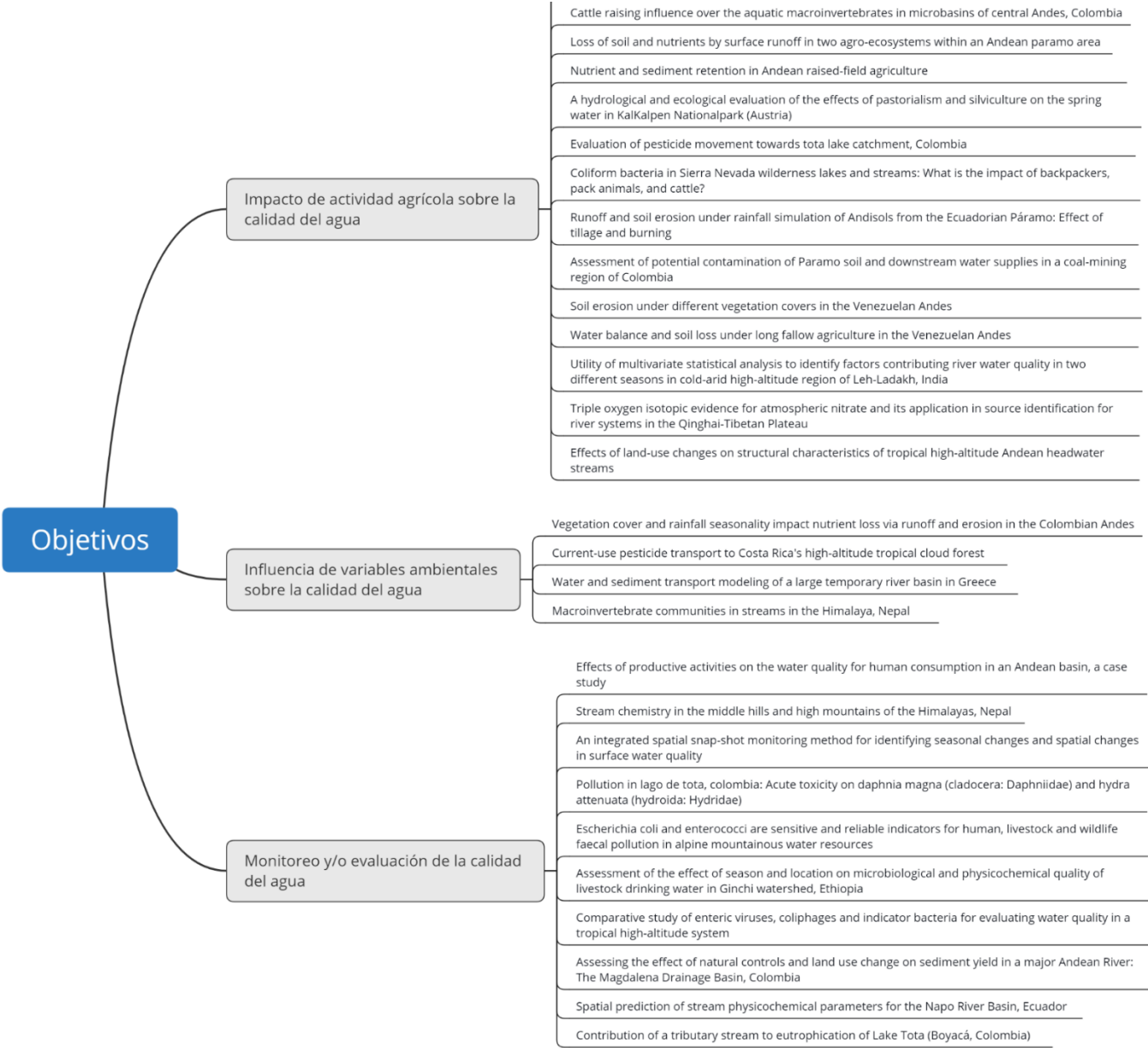


Figura 6. Mapa de clasificación de las publicaciones seleccionadas por categoría de objetivos.

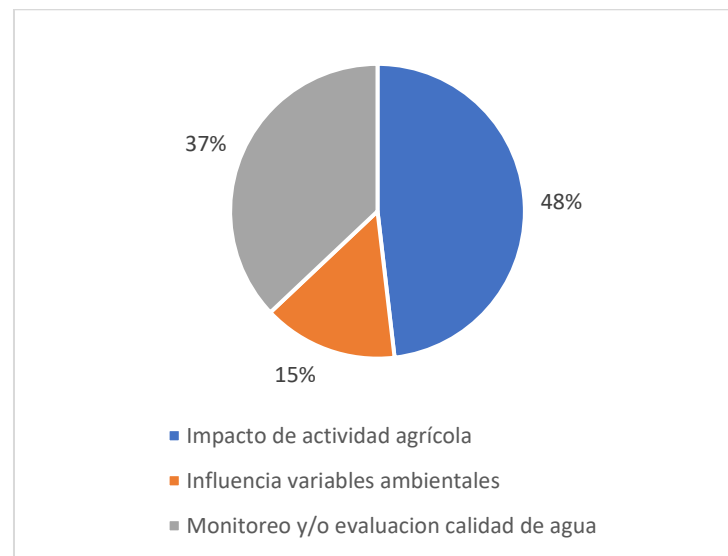


Figura 7. Distribución de los artículos por categoría de objetivos (n=27 artículos)

Apéndice K. Software estadístico y de modelado de calidad del agua empleado en las publicaciones seleccionadas.

Título del artículo	Software
Cattle raising influence over the aquatic macroinvertebrates in microbasins of central Andes, Colombia (Ramírez, Yuly P; et. al 2018)	Statgraphics Centurion XVI
Vegetation cover and rainfall seasonality impact nutrient loss via runoff and erosion in the Colombian Andes (Suescún, Diego; et al.; 2017)	SAS statistical software, STATSGRAPHICS Centurion XVI
Effects of productive activities on the water quality for human consumption in an Andean basin, a case study (Ruiz, Diana Marcela; Martínez Idrobo, Juan Pablo; Otero Sarmiento, Juan Diego; Figueroa Casas, Apolinar; 2017)	SPSS, Statistica, Past, Estimates and Biodiversity Pro
Loss of soil and nutrients by surface runoff in two agro-ecosystems within an Andean paramo area (Otero, J. D.; Figueroa, A.; Muñoz, F. A.; Peña, M. R.; 2011)	SPSS V.14, R2.12
Nutrient and sediment retention in Andean raised-field agriculture (Carney, Heath J.; Binford, Michael W.; Kolata, Alan L.; Marin, Ruben R.; Goldman, Charles R; 1993)	SAS statistical software
Pollution in lago de tota, colombia: Acute toxicity on daphnia magna (cladocera: Daphniidae) and hydra attenuata (hydroida: Hydridae) (Barrera, H. July Andrea; Espinosa, R. Adriana Janneth; Álvarez, S. Juan Pablo; 2019)	Statgraphics Centurion
Escherichia coli and enterococci are sensitive and reliable indicators for human, livestock and wildlife faecal pollution in alpine mountainous water resources (Farnleitner, A. H.; Ryzinska-Paier, G.; Reischer, G. H.; Burtscher, M. M.; Knetsch, S.; Kirschner, A. K.T.; Dirnböck, T.; Kuschnig, G.; Mach, R. L.; Sommer, R.; 2010)	Statistical Package for the Social Sciences, Sigma Plot (SPSS)
Coliform bacteria in Sierra Nevada wilderness lakes and streams: What is the impact of backpackers, pack animals, and cattle? (Derlet, Robert W.; Carlson, James R.; 2006)	STATA 8
Assessment of the effect of season and location on microbiological and physicochemical quality of livestock drinking water in Ginchi watershed, Ethiopia (Duguma, Belay; Tegegne, Azage; Hegde, B. P.; 2012)	SPSS
Water and sediment transport modeling of a large temporary river basin in Greece (Gamvroudis, C.; Nikolaidis, N. P.; Tzoraki, O.; Papadoulakis, V.; Karalemas, N.; 2015)	SWAT2009

Título del Artículo	Software
Spatial prediction of stream physicochemical parameters for the Napo River Basin, Ecuador (Alexiades, Alexander V.; Encalada, Andrea C.; Lessmann, Janeth; Guayasamin, Juan M.; 2019)	R
Utility of multivariate statistical analysis to identify factors contributing river water quality in two different seasons in cold-arid high-altitude region of Leh-Ladakh, India (Giri, Arup; Bharti, Vijay K.; Kalia, Sahil; Kumar, Krishna; Raj, Tilak; Chaurasia, O. P.; 2019)	Excel, SPSS, Minitab statistical packages
Triple oxygen isotopic evidence for atmospheric nitrate and its application in source identification for river systems in the Qinghai-Tibetan Plateau (Xia, Xinghui; Li, Siling; Wang, Fan; Zhang, Sibao; Fang, Yunting; Li, Jianghanyang; Michalski, Greg; Zhang, Liwei; 2019)	R
Effects of land-use changes on structural characteristics of tropical high-altitude Andean headwater streams (Taniwaki, Ricardo H.; Cassiano, Carla C.; Fransozi, Aline A.; Vásquez, Katherine V.; Posada, Raul G.; Velásquez, Guillermo V., Ferraz, Silvio F.B.; 2019)	PAST Software

Apéndice L. Frecuencia de mención de los parámetros analizados en las publicaciones seleccionadas.

Parámetros	Frecuencia
pH	13
Conductividad	12
Nitratos	12
Temperatura	9
Oxígeno disuelto OD	8
Calcio	7
Fosfato	6
Magnesio	6
Potasio	6
Sodio	6
Pérdida de suelo	6
Turbidez	6
Amonio	5
<i>E. coli</i> (escherichia coli)	5
Dureza	5
Nitritos	4
Alcalinidad	4
Sulfato	4
Bicarbonato	4
Hierro	3
Manganeso	3
Fósforo total	3
Coliformes totales	3
<i>Enterococci</i>	3
Cloro	3
Sólidos disueltos totales (SDT)	3
DBO ₅	2
Sílice	2
Flúor	2
Cloruro	2
Carbonato	2
Sólidos suspendidos totales (SST)	2
Sólidos sedimentables (SS)	2
Sólidos totales	2
% de saturación	2
Dureza cálcica	2

Parámetros	Frecuencia
TOC (Carbón orgánico total)	1
DQO	1
Estroncio	1
Bario	1
Aluminio	1
Boro	1
Plomo	1
Nitrógeno amoniacal	1
Nitrógeno total	1
Chlorophyll-a	1
Fósforo hidrolizable total	1
Ortofosfato total	1
Fósforo orgánico total	1
Otra bacteria	1
Coliformes fecales	1
Salinidad	1
Fluoruro	1
Color aparente	1
Zinc	1

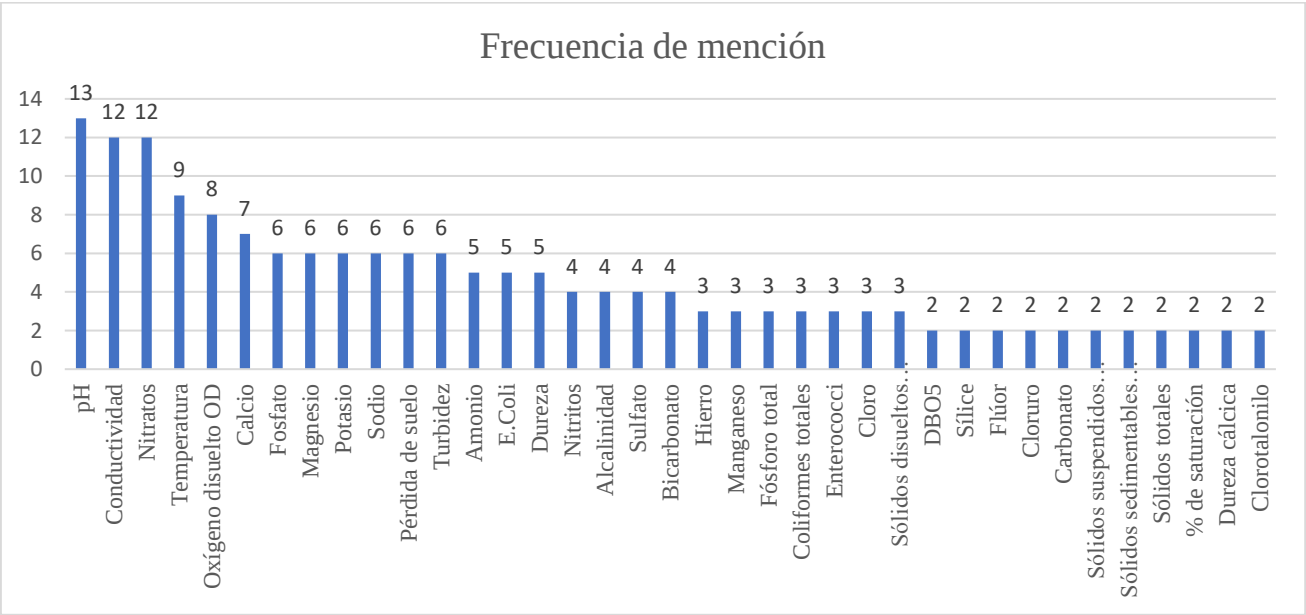


Figura 8. Gráfica de frecuencia de los parámetros más mencionados en las publicaciones.

Apéndice M. Valores máximos y mínimos de los parámetros discretizados por uso del suelo

PARAMETROS	RANGO						
	NATURAL (n=73)	PASTOREO (n=181)	CULTIVO				PASTOREO Y CULTIVO (n=70)
			PAPA (n=19)	CEBOLLA LARGA (n=82)	CEREALES (n=53)	NE* (n=166)	
pH	7.79	4.02 - 8.52	-	6.33 - 7.67	7.00 - 7.90	4.9 - 8.72	3.00 - 9.00
Conductividad [μ S/cm]	82.2	10 - 528	-	10.20 - 245.60	60 - 150	19 - 727.10	5 - 257
Temperatura [°C]	5 - 16.70	1 - 26.70	-	10 - 21	-	15.15 - 20.77	7 - 27
Oxígeno disuelto [mg/L]	7.65 - 8.28	3.26 - 12.61	-	7.05 - 8.59	-	2.82 - 11.71	0.04 - 9.50
DBO ₅ [mg/L]	2.16	2.25	-	1.50 - 3.25	-	-	-
Carbono orgánico total [mg/L]	-	-	-	-	-	0.25 - 7.30	-
DQO [mg/L]	-	-	-	< 10 - 57.2	-	-	-
Turbidez [NTU]	5.53	0.03 - 12.90	-	-	-	0.60 - 13.60	1.30 - 5.90
Dureza [mg/L]	35.6	4 - 190.5	-	-	-	53 - 245.92	-
Dureza cálcica [mg/L]	-	-	-	17 - 93	-	25 - 116	-
Saturación de oxígeno [%]	-	34 - 110	-	68 - 109.50	-	-	-
Color aparente	-	-	-	-	-	40 - 60	-
Nitratos [mg NO ₃ /L]	0.23 - 6.30	0.23 - 23.47	1.22 - 10.50	< 4.43 - 24.8	ND** - 0.27	0.10 - 18.56	0.60 - 3.47
Nitritos [mg NO ₂ /L]	0.006	0.01 - 0.03	-	ND	-	-	0.01 - 1.12
Nitrógeno amoniacal [mg/L]	0.04	0.67	-	-	-	-	-
Nitrógeno total [mg/L]	0.91	1.5	-	-	-	-	-
Fosfatos [mg PO ₄ /L]	0.10	0 - 0.50	0.10 - 0.20	< 1.35 - > 13.5	ND** - 0.60	0.09 - 1.94	-
Fósforo orgánico total [mg/L]	-	-	-	0.07	-	-	-

Nota: *Cultivos que no están entre los mencionados o que no se especifica su tipo en las publicaciones; **Valores por debajo del límite de detección

PARAMETROS	RANGO						
	NATURAL (n=73)	PASTOREO (n=181)	CULTIVO				PASTOREO Y CULTIVO (n=70)
			PAPA (n=19)	CEBOLLA LARGA (n=82)	CEREALES (n=53)	NE* (n=166)	
Fósforo hidrolizable total [mg/L]	-	-	-	0.14	-	-	-
Ortofosfato total [mg/L]	-	-	-	0.10	-	-	-
Fósforo total [mg/L]	0.08	0.0925	-	> 0.024	-	-	0.01 - 0.15
Amonio [mg NH ₄ /L]	2.30	0 - 1.10	1.40 - 4.30	< 0.52	-	-	0.09 - 4.29
Chlorophyll-a [mg/L]	16.2	81.4	-	-	-	28	-
<i>E. coli</i> (escherichia coli) [UFC/100mL]	0 - 514	0 - 900	-	-	-	20 - 980	-
<i>Enterococci</i> [UFC/100mL]	-	0 - 778	-	-	-	1 - 370	-
Coliformes fecales [UFC/100mL]	-	-	-	-	-	0 - 53	-
Coliformes totales [UFC/100mL]	1100	1016 - 1125	-	-	-	0 - 404	-
Otra bacteria [UFC/100mL]	200 - 5000	1300 - 10000	-	-	-	-	-
Calcio [mg/L]	4	2.61 - 87.66	3 - 5.10	-	2.80 - 13.20	61.68 - 73.81	0.70 - 81.30
Magnesio [mg/L]	0.5	0.31 - 31.48	1.50 - 1.70	-	0.60 - 3.20	29.28 - 33.86	0.20 - 37.90
Potasio [mg/L]	3.9	0.04 - 5.30	6.40 - 6.90	-	ND**- 5.60	30.20 - 31.42	< 1 - 5
Sodio [mg/L]	-	0.09 - 19.67	-	-	0.90 - 11.10	60.19 - 62.53	< 2.5 - 36.7
Alcalinidad [mg/L]	38.8	45 - 149.67	-	15.50 - 36.61	-	226 - 406	-
Sulfato [mg/L]	-	0.82 - 155.46	-	-	0.30 - 9.40	0.36 - 4.84	-
Bicarbonato [mg/L]	-	0 - 310.58	-	-	23.60 - 54.90	14.04 - 30.60	-
Cloro [mg/L]	-	5.01	-	-	ND**- 54.9	-	0.50 - 42.70

Nota: *Cultivos que no están entre los mencionados o que no se especifica su tipo en las publicaciones; **Valores por debajo del límite de detección

PARAMETROS	RANGO						
	NATURAL (n=73)	PASTOREO (n=181)	CULTIVO				PASTOREO Y CULTIVO (n=70)
			PAPA (n=19)	CEBOLLA LARGA (n=82)	CEREALES (n=53)	NE* (n=166)	
Cloruro [mg/L]	-	0.07 - 12.88	-	-	-	12.81 - 27.63	-
Carbonato [mg/L]	-	2.4	-	-	-	0 - 6.88	-
Salinidad [ppt]	-	-	-	-	-	0.10 - 0.20	-
Fluoruro [mg/L]	-	0.24	-	-	ND**- 0.23	0.12 - 0.57	-
Sílice [mg/L]	-	-	-	-	0.01 - 16.90	-	0.50 - 10
Boro [mg/L]	-	0.04	-	-	-	-	-
Hierro [mg/L]	-	-	-	-	ND**- 0.79	0.52 - 1.13	-
Manganeso [mg/L]	-	-	-	-	0.003 - 0.12	0.03 - 1.67	-
Estroncio [mg/L]	-	-	-	-	0.005 - 0.07	-	-
Bario [mg/L]	-	-	-	-	ND**- 0.031	-	-
Aluminio [mg/L]	-	-	-	-	0.14 - 0.44	-	-
Plomo [mg/L]	-	-	-	-	-	0.011 - 0.012	-
Zinc [mg/L]	-	-	-	-	-	0.009 - 0.037	-
Sólidos disueltos totales (TDS) [mg/L]	-	301	-	-	-	20 - 176.2	-
Sólidos suspendidos totales (TSS) [mg/L]	9.404	15.5	-	-	-	10 - 14	-
Sólidos sedimentables (SS) [mg/L]	0.1	0.15	-	-	-	0.10 - 0.30	-
Sólidos totales (TS) [mg/L]	-	-	-	-	-	-	860
Pérdida de suelo [t/ha]	0.58 - 1.08	0.34 - 44.96	<0.001 - 44.96	-	-	2.20 - 3.92	53.10 - 92.35

Nota: *Cultivos que no están entre los mencionados o que no se especifica su tipo en las publicaciones; **Valores por debajo del límite de detección

Apéndice N. Valores de los parámetros discretizados por estación o temporada del año

PARAMETROS	RANGO				
	ESTACION			TEMPORADA	
	PRIMAVERA	VERANO	INVIERNO	SECA	LLUVIOSA
Nitrato [mg NO ₃ /L]	2.66 - 23.47	0.10 - 23.47	0.02 - 0.09	<10.18 - 24.8	<10.18 - 10.18
Calcio [mg/L]	19 - 64.8	53.2 - 81.3	63.76 - 84.62	-	-
Cloro [mg/L]	0.50 - 42.70	1.50 - 29.20	-	-	-
Potasio [mg/L]	<1 - 4.80	<1 - 31.42	30.54 - 33.18	-	-
Sodio [mg/L]	<2.50 - 36.7	<2.50 - 62.53	60.56 - 64.66	-	-
Fósforo total [µg/L]	12.60 - 148	10.10 - 96	-	-	-
pH	-	8.15 - 8.53	7.56 - 8.72	6.33 - 7.85	6.68 - 7.92
Temperatura [°C]	-	12.20 - 19.70	15.20 - 16.40	15.15 - 21	13 - 20.77
Saturación de oxígeno [%]	-	-	-	93.20 - 109.50	68 - 106.5
Conductividad [µS/cm]	-	303 - 476	0.23 - 130	66.30 - 727.10	35.60 - 658
Alcalinidad [mg/L]	-	226 - 406	108 - 524	18.30 - 91.53	15.50 - 42.71
Amonio [mg NH ₄ /L]	-	-	-	<0.51	<0.51
Fosfatos [mg PO ₄ /L]	-	0.09 - 1.94	0.01 - 1.86	<1.35 - >13.5	1.35 - >13.5
Oxígeno disuelto [mg/L]	-	7.15 - 11.71	10 - 11.46	2.82 - 4.57	3.27 - 3.93
Coliformes totales [UFC/100mL]	-	-	-	1 - 404	0 - 24
Coliformes fecales [UFC/100mL]	-	-	-	0 - 53	1
Enterococci [UFC/100mL]	-	-	-	101 - 216	1 - 370
Sólidos disueltos totales [mg/L]	-	145.90 - 176.20	0.24 - 156	-	-
Salinidad [ppt]	-	0.10 - 0.20	0 - 0.30	-	-
Turbidez [NTU]	-	0.60 - 11.22	0.87 - 7.22	-	-
E. Coli (escherichia coli) [CFU/mL]	-	2 - 98	0 - 77	-	-
Cloruro [mg/L]	-	12.81 - 27.63	10.32 - 28.23	-	-
Dureza cálcica [mg/L]	-	25 - 116	19 - 77	17 - 93	18 - 60
Dureza total [mg/L]	-	53 - 245.92	51.56 - 206.92	-	-
Sulfato [mg/L]	-	0.36 - 4.84	2 - 6.48	-	-
Carbonato [mg/L]	-	0 - 6.88	0.19 - 6.43	-	-
Bicarbonato [mg/L]	-	14.04 - 30.6	11.84 - 28.4	-	-
Fluoruro [mg/L]	-	0.12 - 0.57	0.02 - 0.47	-	-
Carbono orgánico total [mg/L]	-	0.40 - 7.30	0.25 - 7.15	-	-
Magnesio [mg/L]	-	29.28 - 33.86	29.69 - 35.90	-	-
Hierro [mg/L]	-	1.02 - 1.13	1.04 - 1.13	-	-
Manganeso [mg/L]	-	0.87 - 1.67	0.34 - 1	-	-