

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

**Efecto De La Agricultura Sobre La Calidad Del Agua En Microcuencas De Páramo. Caso:
Páramo De Berlín (Santander, Colombia)**

Jesús David Torres Suárez, Juan Sebastián Durán Montañez

Trabajo de grado para optar el título de ingeniero Civil

Director

Edgar Ricardo Oviedo Ocaña

PhD. En Ingeniería, énfasis en ingeniería sanitaria y ambiental

Codirector

Daniela Cristian Rey Romero

MSc. Planificación de desarrollo de recursos hidráulicos.

Universidad Industrial De Santander

Facultad De Ingeniería Físico Mecánicas

Escuela De Ingeniería Civil

Bucaramanga

2019

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Dedicatoria

Quiero dedicar este proyecto a mi madre, quien con su eterno amor me ha ayudado a seguir adelante siempre.

A mi padre por siempre estar presente, siempre ser atento y dispuesto a colaborar, sin su guía no sería el hombre que soy ahora. A mi hermano, quien siempre me ha brindado su apoyo, tiempo y palabras de aliento.

Jesús David Torres Suárez

Agradecimientos

A mi familia la cual me ha apoyado durante toda la vida, mi madre que me formó el carácter para lograr todas las metas que me he propuesto en la vida, mis hermanos que han sido la mayor compañía y mis abuelos los cuales me enseñaron a ser una persona correcta.

A los compañeros de pregrado, estudiantes de maestría y profesores que ayudaron a la realización de este proyecto, en especial a la profesora Isabel y el profesor Ricardo los cuales nos guiaron y colaboraron durante todo el proceso. Por último, a la profesora Daniela a la cual agradezco su compromiso, esfuerzo y dedicación.

Juan Sebastián Durán Montañez

Mi más sincero y profundo agradecimiento a los compañeros que nos ayudaron durante la campaña de este proyecto, sin ellos no habría sido posible esa jornada.

Al grupo GPH que nos ofreció su guía, a David y demás compañeros que estuvieron atentos a cualquier duda que tuviéramos. A Daniel y todos mis amigos que siempre me brindaron su apoyo, su compañerismo y su sincera opinión.

Al profesor Ricardo, a las profesoras Daniela e Isabel quienes, con su orientación, paciencia y buena actitud nos permitieron realizar este proyecto de la mejor manera.

Jesús David Torres Suárez

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	154
1. Objetivos	209
1.1 Objetivo General	209
1.2 Objetivos Específicos.....	209
2. Metodología	20
2.1 Fase 1: Caracterización de las principales actividades agrícolas	20
2.2 Fase 2: Análisis de la calidad del agua superficial	21
2.2.1 Parámetro fisicoquímicos y microbiológicos	221
2.2.2 Salidas preliminares	221
2.2.3 Campaña de muestreo	24
2.2.4 Análisis de E.Coli	25
2.2.5 Análisis del impacto.....	25
2.3 Fase 3: Estrategias de mitigación del impacto agrícola.....	28
3. Resultados y discusión.....	28
3.1 Zona de estudio	28
3.2 Aspectos climáticos	30
3.3 Caracterización de la actividad agrícola	32
3.3.1 Cultivo de papa	33

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

3.3.2 Cultivo de cebolla Junca	34
3.3.3 Análisis del parámetro	35
3.3.3.1 Caudal	35
3.3.3.2 pH.....	35
3.3.3.3 Alcalinidad.....	36
3.3.3.4 Temperatura del agua.....	37
3.3.3.5 Oxígeno disuelto	37
3.3.3.6 Coliformes totales	38
3.3.3.7 Coliformes fecales	41
3.3.3.8 Escherichia Coli	421
3.3.3.9 Dureza total y dureza cálcica	42
3.3.3.10 Sólidos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos	43
3.3.3.11 Conductividad eléctrica	44
3.3.3.12 Nitratos.....	45
3.3.3.13 Nitritos	45
3.3.3.14 Nitrógeno total	46
3.3.3.15 Nitrogeno amoniacal.....	46
3.3.3.16 Turbiedad	46
3.3.3.17 Fósforo total	47
3.3.3.18 Fosfatos	47
3.3.3.19 Potasio.....	47
3.3.4 Índices de contaminación.....	48
3.4 Estrategias de gestión.....	49

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

3.4.1 Estrategias enfocadas en la comunidad.....	49
3.4.2 Estrategias enfocadas a instituciones	50
4. Conclusiones	52
5. Recomendaciones	54
Referencias Bibliograficas	55
Apendices.....	63

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados.....</i>	20
Tabla 2. <i>Resultados de mediciones en las salidas preliminares.....</i>	22
Tabla 3. <i>Información morfológica de las cuencas estudiadas.....</i>	26
Tabla 4. <i>Características de las subzonas.....</i>	27
Tabla 5. <i>Resultado de parámetros físico químicos y microbiológicos analizados.....</i>	38
Tabla 6. <i>Índices de contaminación promedio ICO de los puntos de muestreo.....</i>	47

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Ubicación del páramo de Santurbán.....</i>	<i>13</i>
Figura 2. <i>Aforo volumétrico.....</i>	<i>23</i>
Figura 3. <i>Precipitación total a través de los meses. Estación Berlín.....</i>	<i>28</i>
Figura 4. <i>Temperatura a través de los meses. Estación Berlín.....</i>	<i>29</i>
Figura 5. <i>Número de días con lluvia a través de los meses. Estación Berlín.....</i>	<i>30</i>

Lista de Apéndices

Apéndice A. <i>Plano de microcuenca objeto de estudio y recorrido salidas de campo.....</i>	<i>61</i>
Apéndice B. <i>Resultados de los parámetros enviados al Laboratorio Químico de Consultas Industriales de la UIS.</i>	<i>62</i>
Apéndice C. <i>Parámetros in situ.....</i>	<i>63</i>
Apéndice D. <i>Resultados del cultivo de Escherichia coli.</i>	<i>64</i>
Apéndice E. <i>Parámetros analizados por con los índices ICO junto con la ecuación de sus subíndices.....</i>	<i>66</i>
Apéndice F. <i>Clasificación de índices de contaminación ICO e índices de calidad ICA</i>	<i>67</i>
Apéndice G. <i>Subdivisión de las unidades hidrológicas según su uso de suelo.</i>	<i>67</i>
Apéndice H. <i>Caudales presentados en la campaña de muestreo.</i>	<i>69</i>
Apéndice I. <i>pH presentados en la campaña de muestreo.</i>	<i>70</i>
Apéndice J. <i>Temperatura presentada en la campaña de muestreo.</i>	<i>71</i>
Apéndice K. <i>Escherichia coli presentada en los puntos de muestreo.....</i>	<i>73</i>
Apéndice L. <i>Conductividad eléctrica presentada en la campaña de muestreo.</i>	<i>74</i>
Apéndice M. <i>Índices de contaminación del agua ICO.</i>	<i>75</i>
Apéndice N. <i>Estrategias de gestión.</i>	<i>77</i>

Resumen

Título: Efecto De La Agricultura Sobre La Calidad Del Agua En Microcuencas De Páramo.

Caso: Páramo De Berlín (Santander, Colombia)*

Autores: Jesús David Torres Suárez, Juan Sebastián Durán Montañez**

Descripción:

En Colombia, los páramos secos abarcan aproximadamente el 0.08% de la superficie del país. Estos ecosistemas se caracterizan por poseer fuentes hídricas con una calidad superior debido a la poca intervención humana comparada con otras fuentes. A pesar de esto, actualmente existen escasos estudios enfocados al impacto de la agricultura sobre los servicios ecosistémicos que los páramos brindan. Este estudio analizó los efectos de la agricultura y ganadería sobre el páramo de Berlín (Santander). Para examinar el impacto de estas actividades antrópicas sobre la calidad del agua, se realizó la caracterización de las prácticas agrícolas de la zona, además de analizar de calidad del agua mediante la metodología de cuencas pareadas, comparando 19 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos; así mismo índices de contaminación (ICO) durante época de lluvia. Los resultados muestran que se emplean agroquímicos de síntesis para la fertilización y control de plagas, así como arado mecanizado y técnicas ineficientes de riego. Respecto a la calidad del agua no se encontró diferencia significativa entre los índices de contaminación de una Unidad Hidrográfica (UH) a otra, pero en cuanto a los parámetros como conductividad eléctrica, potasio, fósforo, sólidos disueltos totales y nitratos, si se encuentra una diferencia significativa. Las posibles fuentes de contaminación en la zona son fertilizantes, fungicidas, herbicidas y desechos producidos por el ganado. Debido a esto, se propusieron estrategias para reducir el impacto de la agricultura, como la correcta dosificación de agroquímicos y un cuidado de puntos estratégicos para evitar contaminación por parte del ganado.

*Trabajo de grado

**Facultad: Facultad De Ingeniería Físico Mecánicas Escuela De Ingeniería Civil
Director: Edgar Ricardo Oviedo Ocaña Codirectora: Daniela Cristian Rey Romero

Abstract

Title: Effect Of Agriculture On Water Quality In Micro-Basins. Case: Páramo De Berlin (Santander, Colombia)*

Author: Jesús David Torres Suárez, Juan Sebastián Durán Montañez**

Descripción:

In Colombia, paramo cover approximately 0.08% of the country's surface. These ecosystems are characterized by having higher quality water sources due to the low human intervention compared to other sources. Despite this, there are currently few studies focused on the impact of agriculture on the ecosystem services provided by paramos. The study analyzed the effects of agriculture and livestock on the Páramo de Berlin (Santander). To analyze the impact of these anthropic activities on water quality, the characterization of agricultural practices in the area was carried out, in addition to analyzing the quality of water through the methodology of paired basins, comparing 19 physicochemical and microbiological parameters; likewise pollution indexes (ICO) during the rainy season. The results indicated that synthetic agrochemicals are used for fertilization and pest control, as well as mechanized plowing and inefficient irrigation techniques. Regarding water quality, no significant difference was found between the pollution indices from one Hydrographic Unit (UH) to another, but regarding the parameters such as electrical conductivity, potassium, phosphorus, total dissolved solids, and nitrates, a significant difference is found. Possible sources of pollution in the area are fertilizers, fungicides, herbicides and wastes produced by livestock. Due to this, strategies were proposed to reduce the impact of agriculture, such as the correct dosage of agrochemicals and care of strategic points to avoid contamination by livestock.

*Bachelor Thesis

**Facultad: Facultad De Ingeniería Físico Mecánicas Escuela De Ingeniería Civil

Director: Edgar Ricardo Oviedo Ocaña Codirectora: Daniela Cristian Rey Romero

Introducción

Los páramos son unidades ecológicas de clima frío y generalmente húmedo presentes en las altas montañas de algunas regiones tropicales de Centro y Sudamérica, Asia, África y Oceanía (Ministerio del Medio Ambiente, 2002). Estos ecosistemas proporcionan fuentes hídricas con una calidad elevada debido a que en la mayoría de los casos no poseen intervenciones humanas (Hofstede, 2001). En varios países de Sudamérica, el agua proveniente de los páramos es de vital importancia para el desarrollo sostenible, ya que abastece a ciudades grandes como Bogotá y Quito (García, 2018) así como a ciudades de menor tamaño como Bucaramanga en Colombia. El ecosistema de páramo representa el 1.3% de la superficie del país, la cual en su mayoría corresponde a páramos húmedos; los páramos secos son relativamente escasos, abarcando un 6% de la superficie ocupada por dichos ecosistemas (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

El 0.03% del páramo presente en Colombia se encuentra en el páramo de Berlín, perteneciente al complejo Santurbán y localizado al norte de la cordillera oriental de Colombia como se muestra en la Figura 1. Su superficie pertenece en un 33.6% al departamento de Santander y un 66.4% al de Norte de Santander (Restrepo, Suárez y Álvarez, 2008). Esta unidad territorial posee un área de 44,272 ha, alcanza una altura máxima de 4,100 y una mínima de 2,800 metros (Restrepo, Suárez y Álvarez, 2008). Según un estudio realizado en el año 2015, los principales usos del suelo corresponden a afloramientos rocosos (8.36%), mosaicos de pastos y cultivos (22.57%), herbazales (58.18%) y pastos limpios (10.01%) (Macias y Omaña, 2018). En 2007 el páramo de Berlín destinaba 1,716 ha a los cultivos de cebolla Junca, papa, hortalizas y frutas (Restrepo, Suárez y Álvarez, 2008), sin embargo, actualmente solo se observa cultivo de cebolla

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Junca y papa. Berlín es considerado el segundo mayor productor de cebolla Junca en el país, convirtiéndola en la principal actividad económica de la zona (Restrepo, Suárez y Álvarez, 2008).

Diferentes estudios como (Hofstede, 2001)- (Hall, Leavitt, Quinlan, Dixit y Smol, 1999) han atribuido a las actividades antrópicas el deterioro de las propiedades fisicoquímicas y la capa vegetal que protege los suelos, provocando una disminución en la calidad, regulación y almacenamiento del agua (Hofstede, 2001). El impacto del deterioro se ve incrementado debido a que estos ecosistemas son caracterizados por la poca resiliencia y lenta recuperación (Otero, Figueroa, Muñoz y Peña, 2011). La producción agrícola es considerada como una de las principales actividades económicas responsables de la contaminación de fuentes de agua (Alfaro y Salazar, 2005). Al ser los suelos preparados para esta práctica se liberan nutrientes que esta contiene. La eliminación de la cobertura natural del suelo incrementa los procesos erosivos siendo el suelo más propenso a la pérdida de partículas (Otero et al., 2011).

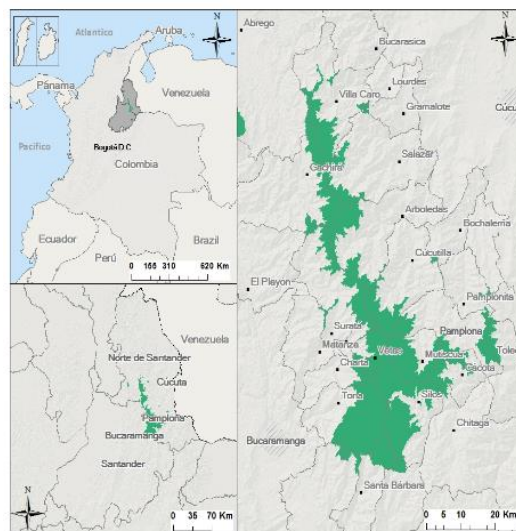


Figura 1. Ubicación del páramo de Santurbán (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt., 2019)

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Entre los efectos de la agricultura sobre la calidad del agua se detectan el aumento de nutrientes y sedimentos en las corrientes superficiales (Uriarte, Yackulic, Lim y Arce-Nazario, 2011). Así mismo, un estudio en Brasil, encontró una correlación entre la agricultura y el aumento de fósforo total, nitrógeno total, coliformes fecales y una disminución en el oxígeno disuelto en las corrientes superficiales (de Mello, Valente, Randhir, dos Santos y Vettorazzi, 2018). Estos efectos secundarios se deben al uso excesivo de fertilizantes, la escorrentía, y la lluvia que produce la erosión mayor a la natural debido a que el suelo está descubierto. El aumento de los nutrientes en las fuentes de agua induce el crecimiento excesivo de algas y provoca procesos de eutrofización que contribuyen a la disminución del oxígeno disuelto, provocando daños en el ecosistema (Santa Olalla Mañas, López, 2005). A su vez los coliformes fecales son un indicativo de la presencia de bacterias nocivas para la salud como *Escherichia coli* (Ongley, 2011).

Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) para el 2050 se pronostica que una de cada cuatro personas vivirá en un país afectado por escasez crónica y reiterada de agua dulce (CEPAL, 2018). En virtud de lo anterior este proyecto abordó dos (2) de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible propuestos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y asumidos por Colombia, correspondientes al objetivo “Hambre cero” que busca disminuir el hambre apoyando a las personas del campo y protegiendo el medio ambiente y “Agua limpia y saneamiento” que se enfoca en mejorar el acceso al agua para consumo y saneamiento ejerciendo una gestión de los ecosistemas de agua dulce entre las comunidades aledañas (CEPAL, 2018).

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Enmarcado en la problemática de la conservación de los ecosistemas y su uso sostenible, se encuentra el páramo de Berlín, el cual es objeto de polémica debido a su nueva delimitación, la cual prohíbe la realización de cultivos en las zonas delimitadas, afectando la economía del lugar. Actualmente la sentencia T-361 de la Corte Constitucional ordenó una nueva delimitación que tenga garantías de participación de todas las comunidades afectadas (Corte Constitucional de Colombia, 2017). Debido a la importancia que posee el páramo de Berlín como proveedor de servicios de suministro de agua, no solo para sus habitantes, sino para poblaciones aguas abajo que se benefician de este servicio ecosistémico, es necesario estimar el efecto de la agricultura sobre la calidad del agua (de Mello, Valente, Randhir, dos Santos y Vettorazzi, 2018). Se encontraron dos estudios que abordan el impacto del cultivo de la cebolla Junca sobre la calidad del agua con los cuales se pueda analizar, cuantificar y disminuir potenciales efectos negativos para el ecosistema. Uno de ellos se realizó en el municipio de Aquitania (Boyacá), el cual evaluó los costos ambientales en la producción de la cebolla larga y su impacto sobre el ambiente (Torres, 2010) y el segundo, realizado en el corregimiento de La Florida de la ciudad de Pereira, en el que se evaluó el grado de contaminación por plaguicidas organofosforados en cultivos de cebolla (*Allium fistulosum*) en suelo y agua de escorrentía (Rubio, Alejandro y Reyes, 2014).

Por estas razones, el presente estudio representa un aporte en este contexto, ya que su objetivo general es evaluar los efectos de la agricultura sobre la calidad del agua durante la segunda temporada lluviosa de 2019. Este estudio se lleva a cabo mediante el enfoque de cuencas pareadas, que corresponde a una metodología de análisis del comportamiento de cuencas hidrográficas utilizada para realizar estudios de calidad del agua de fuentes de contaminación difusa (Dressing & Meals, 2005). Este consiste principalmente en comparar los efectos causados

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

por algún aspecto que sea distinto entre las cuencas de estudio (Clausen & Spooner, 1993), como por el ejemplo, los impactos causados por el cambio del uso del suelo. Para aplicar este enfoque metodológico es necesario contar con al menos dos cuencas hidrográficas: una de control y otra de tratamiento. Para este estudio la unidad de control no se encontraba intervenida por prácticas agrícolas mientras que la unidad de tratamiento si presenta intervención. Las unidades seleccionadas deben contar con tamaño, pendiente, localización similar y ubicación cercana entre ellas. Durante el periodo de estudio se observa el comportamiento de las cuencas hidrográficas a través de una temporada climática del año (Clausen & Spooner, 1993). Las dos unidades hidrográficas estudiadas (UH) se encuentran ubicadas en la cabecera de la cuenca del río Jordán, la cual se extiende por aproximadamente 13,765 ha en el páramo de Berlín (García, 2018). En la unidad hidrográfica intervenida existen cambios sobre la cobertura del suelo por cultivos de cebolla Junca y en menor medida de papa, mientras que en la otra se observa vegetación nativa de páramo y pastos en recuperación.

La anterior información recolectada podría servir de insumo para determinar si las prácticas agrícolas generan un impacto sobre el ecosistema y en dado caso de generar un impacto servirían a la comunidad para orientar sus procesos de producción agrícola, de manera que se reduzcan los impactos sobre el suelo y recursos hídricos. Este trabajo se realizó en el marco del proyecto de investigación titulado “Análisis Participativo de la Influencia del Uso del Suelo en los Sistemas Hidrológicos de Suministro y Regulación Ofertados por el Ecosistema Páramo Seco” que actualmente desarrolla el Grupo de Investigación en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (GPH-UIS).

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar los efectos de la agricultura sobre la calidad del agua durante la temporada de lluvias en una microcuenca de páramo. Caso Páramo de Berlín (Santander, Colombia).

1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar la actividad agrícola en las microcuencas objeto de estudio, observando sus procesos, insumos y periodos de siembra y cosecha.
- Analizar las características fisicoquímicas del agua en las microcuencas objeto de estudio, influenciada por la agricultura.
- Proponer alternativas de gestión que contribuyan a minimizar el impacto de la agricultura sobre la calidad del agua.

2. Metodología

La metodología fue dividida en tres fases, cada una basada en el cumplimiento de uno de los objetivos planteados para este proyecto. La fase 1 se enfocó principalmente en la caracterización de las prácticas y técnicas utilizada por los agricultores; en la fase 2 se realizó el análisis de los parámetros de calidad del agua e índices de contaminación; por último, en la fase 3, se plantearon estrategias de gestión que contribuyeran a disminuir el impacto al ecosistema.

2.1 Fase 1: Caracterización de las principales actividades agrícolas.

El proyecto inició con una investigación sobre las actividades económicas en el páramo de Berlín para guiar la revisión bibliográfica sobre la agricultura en la zona. Como resultado de esta investigación, se determinó que las actividades agrícolas predominantes en la zona son el cultivo de cebolla Junca y papa. De esta revisión literaria se encontraron cuatro documentos que recopilan información sobre el cultivo de la cebolla Junca (Torres, Cruz y Patiño, 2009), (Ramírez, Restrepo y Cardenosa, 1999), (Ramírez, Restrepo y Viña, 1997), (Instituto Humboldt e Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) 2014) y otros cuatro que se enfocan en el cultivo de papa (Ministerio de Agricultura y D.A.N.E. 2013), (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015), (Mechenich y Andrews, S.F), (Suárez, Peña y Amaya, 2007), así como una guía de cultivo elaborada por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) que contiene las prácticas agrícolas en zonas aledañas al páramo. La documentación encontrada se filtró y analizó determinando las fases productivas de los cultivos, además de la forma en la cual se realizan estas prácticas en Colombia. Posteriormente, se indagó en campo sobre los procesos de cultivo realizados por los agricultores en el área de Berlín. Para tal efecto, durante las salidas

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

preliminares se observó cuáles son los cultivos que se manejan en la zona y se entrevistó a uno de los agricultores quien brindó información sobre los procesos, insumos, tiempos, intervalos de riego y cuidados agrícolas practicados en Berlín. Esta información permitió identificar las posibles causas de contaminación difusa del agua en la zona de estudio.

2.2. Fase 2: Análisis de calidad del agua superficial.

2.2.1. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Para la realización del análisis de la calidad del agua se seleccionaron una serie de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que pudieran ser afectados por actividades agrícolas. Lo cual se realizó en conjunto con investigadores del grupo GPH. Los parámetros seleccionados para el análisis y los métodos utilizados por el laboratorio son plasmados en la Tabla 1.

2.2.2. Salidas preliminares. Se realizaron tres salidas preliminares con el objetivo de efectuar un reconocimiento de las unidades hidrográficas de estudio, seleccionar los puntos de muestreo, pre-evaluar la contaminación midiendo parámetros in situ, medir caudales y acondicionar los puntos para el muestreo.

La primera salida de campo tuvo como objetivo el reconocimiento inicial de la zona, la preselección de posibles puntos de muestreo y la identificación de las actividades agrícolas en las fincas. El recorrido inició sobre la UH intervenida en donde se arribó al predio del sector intervenido, se hizo una identificación visual de la agricultura presente. Se recorrió el cauce siguiendo la ruta del Apéndice 1 en busca de focos de contaminación puntual y posibles puntos de muestreo de calidad del agua; los puntos encontrados se caracterizaron y aforaron midiendo 3 volúmenes y tiempos para luego promediarlos. Al finalizar se realizó un recorrido por la UH no

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

intervenida para identificar las actividades agrícolas presentes. Al concluir la jornada se seleccionaron los 4 puntos para los análisis de calidad, que se presentan en el Apéndice A y se describen en la Tabla 2.

Tabla 1.

Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados.

Parámetros analizados	Método de análisis	Medida
Nitratos	Espectrofotométrico / RODIER	mg NO ₃ ⁻ /L
Nitritos	Espectrofotométrico / SM 4500-NO ₂ -B	mg NO ₂ ⁻ /L
N amoniacal	Titrimétrico / SM 4500 NH ₃	mg NH ₄ /L
Nitrógeno total Kjeldahl	Titrimétrico – Kjeldahl / SM 4500 NT	mg N/L
Fósforo total	Espectrofotométrico / SM 4500 P	mg P/L
Fosfatos	Espectrofotométrico / SM 4500 P E	mg PO ₄ ⁻³ /L
Alcalinidad	Titrimétrico / SM 2320 B	mg CaCO ₃ /L
Dureza total	Titrimétrico / SM 2340 C	mg CaCO ₃ /L
Dureza Cálcica	Titrimétrico / SM 3500- Ca-B	mg CaCO ₃ /L
Turbiedad	Nefelométrico / SM 2130 B	NTU
Potasio	Absorción Atómica / SM 3111B	mg K/L
Sólidos Suspendidos Totales	Gravimétrico / SM 2540 B	mg/L
Sólidos Totales	Gravimétrico / SM 2540 B	mg/L
Oxígeno disuelto	In situ (electrodo de membrana)	mg O ₂ /L
% saturación	In situ (electrodo de membrana)	%
C.E	In situ (electrométrico)	µS/cm
pH	In situ (potenciométrico)	Unidades de pH
Coliformes totales	Filtración por Membrana	UFC/100 ml
Coliformes	Filtración por	UFC/100

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Fecales	Membrana	ml
<i>Escherichia</i>	Filtración por	UFC/100
<i>coli</i>	Membrana	ml

Posteriormente, se realizó una segunda salida de campo con el propósito de medir algunos parámetros de calidad del agua *in situ* (i.e. pH, conductividad eléctrica y temperatura). Los datos obtenidos permitieron tener una primera impresión sobre la diferencia en la calidad de agua en los distintos puntos. Adicionalmente, se realizaron aforos para contrastar los resultados con los obtenidos en la primera salida y decidir los métodos de aforo apropiados en cada punto, para efectos de la campaña de muestreo. El recorrido se realizó siguiendo la ruta mostrada en el Apéndice A.

En todos los puntos se realizaron aforos volumétricos por triplicado y se midieron los parámetros *in situ* propuestos utilizando el medidor multiparámetro marca METTLER TOLEDO modelo S678–FK2. Los resultados de esta salida están plasmados en la Tabla 2.

La tercera salida de campo, se realizó con el fin de planear la logística de las campañas, recolectar datos y acondicionar los puntos seleccionados en las unidades hidrológicas para facilitar la campaña. Se visitó cada punto siguiendo la ruta del Apéndice A para preparar las zonas de muestreo de manera que los aforos pudieran ser realizados con los métodos preseleccionados. Además, se realizaron aforos volumétricos y mediciones de los parámetros *in situ* que se indicaron anteriormente, para tener valores de referencia en una fecha cercana al muestreo. Para esto se utilizó el equipo multiparámetros usado en la salida previa, para medir conductividad eléctrica, pH y temperatura. Los datos recolectados en esta salida son mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2.

Resultados de mediciones en las salidas preliminares.

Punto N°	Descripción	Q ¹ [L/s]	Q ² [L/s]	Q ³ [L/s]	pH ²	pH ³	C.E ² [μs/cm]	C.E ³ [μs/cm]	T ² [°C]	T ³ [°C]
1	Nacimiento UH intervenida	0.93	1.03	1.60	7.73	7.48	29.5	26.9	9.75	10.3
2	Cierre UH intervenida	0.83	1.79	1.60	7.68	7.57	40.2	40.8	12.8	12.3
3	Nacimiento UH no intervenida	0.2	0.10	0.27	6.94	6.76	32.1	30.7	12.5	10.05
4	Cierre UH no intervenida	2.04	2.85	2.79	7.34	7.67	28	33.3	13	12.75

Medidos en 2019 durante los meses de: ¹febrero. ²mayo y ³septiembre.

2.2.3. Campaña de muestreo. La campaña de muestreo consistió de tres salidas de campo durante los días lunes 23, miércoles 25 y viernes 27 de septiembre de 2019 en las cuales se realizó una toma de muestras compuestas, es decir, se recolectaron alícuotas durante 6 horas, comenzando a las 8:00 a.m. y terminando a las 2:00 p.m. Esto con el fin de obtener información significativa de la calidad del agua de toda la jornada de muestreo. Las alícuotas fueron tomadas cada 30 minutos y el volumen total de muestra fue de 3.5 litros, siguiendo las indicaciones dadas en el protocolo de monitoreo del agua del IDEAM (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) 2017). Durante este período el volumen de alícuota fue determinado con la ecuación 1. En donde V_a es el volumen de las alícuotas, V_m es el volumen final de la muestra, V_r es el volumen recolectado hasta el momento, Q_m es el caudal medido, Q_{pr} es el caudal promedio y N_{af} es el número de alícuotas faltantes.

$$V_a = \frac{Q_m * (V_m - V_r)}{Q_{pr} * N_{af}} \quad (1)$$

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

En los nacimientos se realizaron aforos volumétricos como se muestra en la Figura 2, mientras que en los cierres se hizo una medición del nivel para determinar el caudal con canales-vertederos los cuales fueron instalados y calibrados por el grupo de investigación GPH. Al finalizar las jornadas, las muestras compuestas fueron envasadas en frascos respectivos y conservadas siguiendo las indicaciones del Laboratorio Químico de Consultas Industriales de la UIS. En dicho laboratorio se analizaron todos los parámetros de calidad del agua, a excepción del análisis de *Escherichia coli*, que fue realizado por los investigadores en el laboratorio de investigación del grupo GPH. Los resultados del laboratorio están plasmados en el Apéndice B.

Adicionalmente, durante la campaña se realizaron mediciones de parámetros *in situ* (pH, conductividad eléctrica, concentración de oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno y temperatura). Estas mediciones se realizaron cada 30 minutos durante 6 horas en los respectivos puntos de análisis utilizando medidores multiparámetros, con las especificaciones indicadas previamente, además de un medidor multiparámetro marca HANNA modelo HI 98129. En el caso del oxígeno disuelto, este solo se midió en dos momentos durante las jornadas debido a que se contaba con solo un equipo (oxímetro HANNA modelo HI9146), para el monitoreo de todos los puntos de muestreo. Cada medidor fue calibrado previamente siguiendo las recomendaciones para cada uno. Estos resultados son mostrados en el Apéndice C.



Figura 2. *Aforo volumétrico*

2.2.4. Análisis de E. coli. En esta fase se realizó el análisis microbiológico de las muestras tomadas en campo, específicamente *Escherichia coli*. La metodología utilizada fue filtración por membrana, determinando el número de unidades formadoras de colonias (UFC). Esta bacteria se cultivó utilizando el medio agar llamado Chromocult® de la empresa Merck Millipore. El proceso de filtración se realizó a través de membranas empleando dos sets de filtro de la compañía Delagua provistos por el grupo GPH. Las membranas fueron incubadas a una temperatura media de 36 °C por 24 horas, para posteriormente contar las UFC por cada 100 ml de muestra. El proceso consistió en filtrar una muestra de cada punto, para los nacimientos se filtraron 100 ml y para los cierres 20 ml de muestra. Para garantizar la calidad de los resultados se siguieron los procedimientos de filtración, manejo del equipo y de esterilización de materiales establecidos en el manual de la empresa (Delagua, 2015). Los resultados de este análisis se muestran en el Apéndice D.

2.2.5. Análisis del impacto. Este proceso inició con el análisis de cada parámetro, su comportamiento respecto a la UH en la que fueron tomados, su variación desde el nacimiento al cierre, su comparación con respecto a valores normales de otras fuentes superficiales y rangos de aceptación propuestos por varias instituciones para su utilización. El método usado para la

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

cuantificación de la contaminación fue el cálculo de los índices de contaminación (ICO), los cuales son una expresión simplificada de la evaluación de varios parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en relación con la contaminación natural, es decir, representan la contaminación del recurso hídrico mediante la cuantificación de varios parámetros de calidad del agua (Torres, Cruz y Patiño, 2009). Los resultados de estos indicadores se pueden representar a través de rangos, colores, números o descripción verbal del estado de la contaminación (Torres, et al., 2009). Se seleccionaron índices de contaminación del agua que permitieran cuantificar el cambio en la calidad del agua producido por la agricultura utilizando los parámetros analizados. Este proyecto contempló el cálculo de los índices ICOMI, ICOTRO, ICOpH, ICOSUS que fueron desarrollados en Colombia por varios autores (Ramírez, Restrepo y Cardenosa, 1999), (Ramírez, Restrepo y Viña, 1997).

Los índices ICO se calcularon utilizando las ecuaciones 2, 3 y 4 plasmadas en los artículos (Ramírez et al., 1999), (Ramírez et al., 1997), en donde $I_{parametro}$ son subíndices que se promedian en el ICOMI y SST es la cantidad de sólidos suspendidos totales. Cabe aclarar que el ICOTRO no posee ecuación, su valor se estima a partir de las recomendaciones de los artículos anteriormente comentados. Los parámetros asociados a cada índice ICO junto con las ecuaciones de sus subíndices son mostrados en el Apéndice E. La clasificación de los índices de contaminación ICO se realizó según los rangos mostrados en el Apéndice F.

$$ICOMI = \frac{I_{C.E} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad}}{3} \quad (2)$$

$$ICOSUS = -0.02 + 0.003 \text{ Sól. Sus } \left[\frac{g}{m^3} \right] \quad (3)$$

$$ICOMI = \frac{e^{-31.08 + 3.45 \text{ pH}}}{1 + e^{-31.08 + 3.45 \text{ pH}} + 3.45 \text{ pH}} \quad (4)$$

2.3. Fase 3: Estrategias de mitigación del impacto agrícola

A partir de un análisis de los parámetros obtenidos se realizó una búsqueda de estrategias de gestión que fueran aplicables en la comunidad de Berlín y contribuyeran a minimizar el impacto de las actividades antrópicas sobre el páramo y sus servicios ecosistémicos, específicamente la calidad del agua. Las estrategias se filtraron de acuerdo a la viabilidad de su ejecución y los aspectos por mejorar en las prácticas realizadas por los agricultores. Para las estrategias se formuló una recomendación a seguir, se indicó qué problema solucionaba, los posibles efectos que tendrá sobre la calidad del agua y el plazo estimado en el que se podrían realizar.

3. Resultados y discusión.

3.1. Zona de estudio

El grupo de investigación GPH buscó y seleccionó una microcuenca que se acercara a las especificaciones recomendadas para esta clase de estudio de cuencas pareadas. La microcuenca seleccionada cuenta con un área de 36.76 ha y dos unidades hidrográficas en su interior (Celis, 2019). La Tabla 3 muestra las características morfológicas de estas unidades.

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Tabla 3.

Información morfológica de las cuencas estudiadas

Unidad Hidrográfica	Área [ha]	Perímetro [m]	Elevación máxima [msnm]	Elevación mínima [msnm]	N-C [m]	Pendiente media del cauce principal [%]	Usos del suelo
Intervenida	2 0.88	2225	3501	3431	586.9 2	15.6	Cultivo de papa y cebolla rama
No intervenida	1 5.91	3275	3565	3431	343.4 7	17.4	Pastoreo de bovinos

N-C representa la longitud del recorrido entre el punto del nacimiento y el punto del cierre

Fuente (Celis, 2019) y elaboración propia.

La unidad intervenida se dividió en tres subzonas diferentes, la zona 1 que tiene una cobertura de suelo de mosaico de pastos, rocas y vegetación arbustiva. La zona 2, la cual posee pastos en recuperación y una pequeña área arbustiva. Y por último la zona 3. Esta se encuentra cubierta de cultivos de papa y cebolla Junca. La unidad no intervenida se divide en 3 coberturas diferentes; la zona 4, con vegetación de mosaico de pastos y rocas. Zona 5, con una vegetación de árboles, arbustos y pastos naturales. Y zona 6, con una cobertura de barbecho. La separación de las subzonas se aprecia con más detalle en el plano mostrado en el Apéndice G y en la tabla se muestra el valor de las áreas.

Tabla 4.

Características de las subzonas

Subzona	Área [ha]	Cobertura
1-UH intervenida	13.8	Vegetación natural
2-UH intervenida	3.24	Barbecho
3-UH	3.84	Cultivos de papa

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

intervenida		y cebolla
4-UH no	6.72	Vegetación
intervenida		natural
5-UH no	5.27	Vegetación
intervenida		densa
6-UH no	3.92	Barbecho
intervenida		

3.2. Aspectos climáticos

La revisión del clima en Berlín se realizó mediante los datos registrados por la estación 3701502 del IDEAM, una estación con categoría Climatológica Principal ubicada en la vereda de Berlín en latitud 7.9° y longitud 72.87° a 3,214 msnm. La información analizada comprende promedios multianuales desde 1981-2010 de varios parámetros medidos a nivel mensual como la precipitación, temperatura y número de días con lluvia (Instituto Humboldt e IDEAM 2014).

El tiempo atmosférico presentado durante los tres días de campaña fue variado. El lunes se presentó una prolongada precipitación a partir de las 10:00 a.m. que tuvo una duración 4 horas. El miércoles no se presentaron precipitaciones. Y el viernes se presentaron fuertes lluvias en las horas de la noche anterior y madrugada, según información de la comunidad.

La distribución de la precipitación (mm) se caracteriza por ser bimodal. Los mayores volúmenes de precipitación se presentaron en los meses de Abril, Mayo, Septiembre y Octubre, mientras que los meses más secos son Diciembre, Enero y Febrero. La precipitación total anual es de aproximadamente 690 mm (Instituto Humboldt e IDEAM 2014). Esta información es mostrada en la Figura 3.

EFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

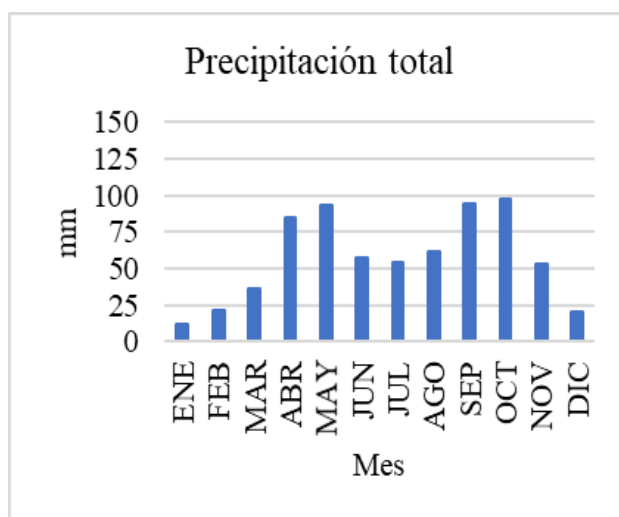


Figura 3. Precipitación total a través de los meses. Estación Berlín (Instituto Humboldt e IDEAM 2014).

En Berlín la temperatura media es de 8.8°C, la temperatura mínima media es de 4.5°C y La temperatura máxima media en la zona es de 13.7°C. Las temperaturas más bajas se presentan en Diciembre, Enero y Febrero con valores cercanos a promedio de 2.5°C, las temperaturas máximas promedio se encuentran en Febrero y Marzo teniendo valores promedio de 15°C aproximadamente. Puede evidenciarse que la variación entre la temperatura en la zona es considerable ya que pasa de 1.7°C a 14.9°C (Instituto Humboldt e IDEAM 2014). Esta información es mostrada en la Figura 4.

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

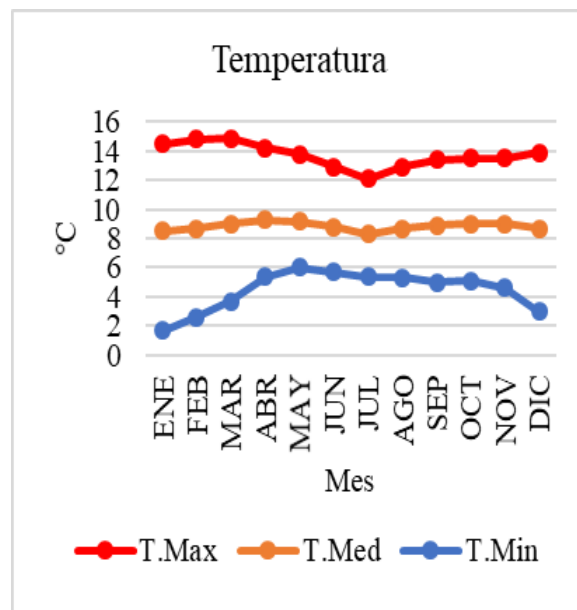


Figura 4. *Temperatura a través de los meses. Estación Berlín* (Instituto Humboldt e IDEAM 2014)

Los días con lluvia en Berlín, se presentan con mayor frecuencia de Abril a Octubre en el cual llueve de 15-21 días al mes, los meses de menor número de días con lluvia registrados son Diciembre, Enero y Febrero en los cuales llueve en promedio 8 días al mes. Enero es el mes con menor número de días con lluvia y Julio el mayor (Instituto Humboldt e IDEAM 2014). Esta información es mostrada en la Figura 5.

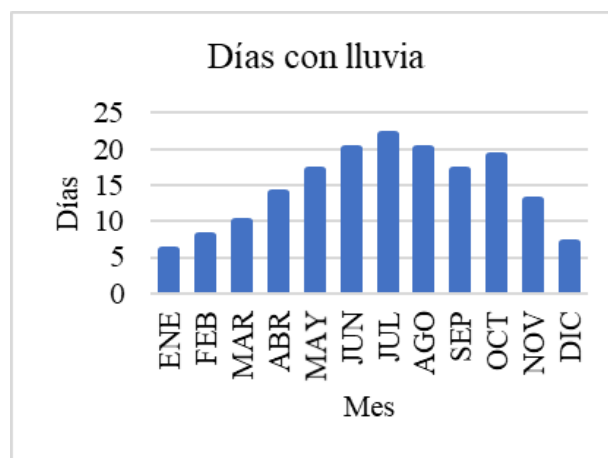


Figura 5. Número de días con lluvia *a través de los meses. Estación Berlín* (Instituto Humboldt e IDEAM 2014).

3.3. Caracterización de la actividad agrícola

La producción de los cultivos se puede dividir en 8 procesos que abarcan la siembra, el riego, manejo de plagas, erradicación de malezas, control de enfermedades, cosecha, fertilización y post-cosecha. En Berlín se tiene la práctica de utilizar el cultivo de papa como tratamiento previo al de cebolla, el cual por su resistencia a las condiciones climáticas es casi permanente. Al contrario de la cebolla, la papa es más sensible a fenómenos climáticos y se ve gravemente afectada hasta el punto de perderse por completo.

En época lluviosa los agricultores locales emplean diferentes productos agroquímicos que los usados en época seca, probablemente por recomendación de los proveedores. Pero como tal, no se tiene una razón técnica. En la entrevista realizada se evidencia que en los cultivos se llevan a cabo prácticas inadecuadas de dosificación de agroquímicos y la disposición de estos mismos. Tanto para los cultivos de papa como de cebolla se identificaron algunas marcas comerciales de fertilizantes (Borozinco foliar, Aminaset), productos estimulantes de crecimiento para la cebolla (Giber Crop), fungicidas (Trivia, Alarm 80wp, Rhodax, Score, Silvacur), insecticidas (Conect duo) y para desinfección del cultivo L.O.C. Home de Amway, que es un producto para el aseo doméstico.

3.3.1. Cultivo de papa. Basado en la revisión bibliográfica la siembra de papa se realiza en surcos que poseen una distancia entre ellos de 0.9 a 1.4 m y una distancia entre plantas entre 0.35 y 0.5 m (Ministerio de Agricultura y D.A.N.E. 2013)–(Suárez, Peña y Amaya, 2007), la fertilización se basa en abonos a base de fósforo, nitrógeno y potasio en proporciones 10-30-10, 15, 15, 15 (triple 15) y estiércoles principalmente la gallinaza que en su mayoría se usa en estado crudo (Ministerio de Agricultura y D.A.N.E. 2013), (FEDEPAPA y MINAMBIENTE, 2004)–(Instituto colombiano agropecuario (ICA) 1985). Este cultivo demanda cantidades de agua de 5,000 a 6,000 m³/ha/año (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015). La cosecha se realiza después de 3 a 6 meses dependiendo la variedad cultivada (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015), (ICA, 1985), una vez cosechada se clasifica, es agrupada, almacenada en costales tradicionales y transportada para su comercialización (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015)– (Suárez et al., 2007). El control de la maleza se realiza de manera manual mediante azadón y pala, en algunas ocasiones se utilizan cubiertas plásticas negras y por último agroquímicos, comúnmente en cantidades inadecuada (Ministerio de Agricultura y D.A.N.E. 2013)– (Suárez et al., 2007). La eliminación de las plagas se logra con el uso de plaguicidas mediante fumigaciones o material granulado combinado con abono (Ministerio de Agricultura y D.A.N.E. 2013)– (Suárez et al., 2007). Las enfermedades que atacan a la papa se controlan mediante la eliminación de las plantas contaminadas y el uso del agroquímicos respectivos para cada enfermedad (Ministerio de Agricultura y D.A.N.E. 2013), (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015), (Suárez et al., 2007), (ICA, 1985).

El cultivo de papa en Berlín inicia con la preparación de tierra utilizando tractor, rastrillo, azadón, retobo y cal que sirve para reducir la acidez de los suelos. Este proceso se realiza durante

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

1 año, pasado este tiempo se abona el suelo con gallinaza y compost procesado que es traído desde Lebrija. Seguidamente se siembra la papa semilla. En temporada de lluvias el tiempo de riego es mínimo o a veces nulo. La cosecha tiene un tiempo aproximado de 6 a 7 meses y cada 2 o 3 cosechas se repite el proceso de abono. Según los pobladores este cultivo tiene una duración de 2 o 3 años, después de este tiempo el agricultor decide si continua este plantío o remueve toda la papa y empieza con el proceso para cultivar cebolla.

3.3.2. Cultivo de cebolla Junca. En Colombia, los procesos de cultivo de cebolla Junca se realizan de la siguiente manera: la siembra se realiza en surcos con una separación de 60 cm y una distancia entre plantas que oscila entre 30 y 50 cm (ICA, 1985)– (Castellanos y Pérez, 2018). La fertilización que predomina en los cultivos tradicionales es la Gallinaza o Pollinaza en estado crudo o compostado, aunque en algunos casos se utilizan otros abonos comerciales (p. ej. triple 15 o abonos 10-30-10) (ICA, 1985)–(Carrascal, 2011). La demanda de riego del cultivo es de aproximadamente 6,000 m³/ha/año, pero se han llegado a proponer valores de hasta 16,000 m³/ha/año (Torres, 2010)– (Rubio et al., 2014), (Clausen & Spooner, 1993). La primera cosecha se realiza de forma manual después de 4 a 6 meses y las siguientes de 2 a 4 meses durante 4 o 5 años que es la duración recomendada del cultivo (ICA, 1985)–(Carrascal, 2011). En la post-cosecha se cortan las raíces, partes de las hojas, se clasifica el producto y es almacenado en costales de fique ralo de 50 y 25 kg (ICA, 1985), (Vera, Villamizar y Espinosa, 1991), (Castellanos y Pérez, 2018). El control de la maleza se realiza usualmente de manera manual pero es común que se utilicen herbicidas (DANE, 2015)–(Carrascal, 2011). Para el control de las plagas se realiza con el uso de plaguicidas y extractos de algunas plantas (DANE, 2015)–(Carrascal, 2011). Las enfermedades de la cebolla se controlan utilizando una densidad de

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

cultivo adecuado así como semillas sanas y la utilización de productos químicos (ICA, 1985)– (Carrascal, 2011).

Para la producción de cebolla Junca en Berlín, la siembra se realiza con una distancia entre plantas de 20 o 30 cm y los surcos son realizados para ubicar mangueras de riego; 20 días después de la siembra se deshierba de forma manual y en ocasiones utilizando herbicidas. El proceso de fumigación se realiza cada 10 o 12 días aplicando el producto al costado de la planta. La plaga de babosas negras es controlada biológicamente por patos criados por los agricultores. Una patología que afecta a las cebollas la cual se mencionó en la entrevista como un hongo que afecta a la raíz, cuando se detecta, se procede a remover toda la planta, arrancándola de raíz junto con la tierra que la rodea para evitar el contagio. Un cultivo de cebolla requiere más agua que el de papa, el riego se realiza por gravedad directamente del nacimiento o por motobombas desde el cauce principal hacia los cultivos. Sin embargo, algunos agricultores evitan esta última práctica pues son conscientes de que, al usar agua desde el cauce principal, sus cultivos quedan propensos a contraer enfermedades debido a la presencia de descargas de aguas negras provenientes de viviendas aguas arriba.

3.3.3. Análisis de parámetros.

3.3.3.1. Caudal. A partir de los datos de caudal obtenidos se puede evidenciar que los puntos de muestreo presentaron un comportamiento constante los días Miércoles y Viernes, con un coeficiente de variación de aproximadamente 6%, mientras que el Lunes el evento de lluvia provocó un aumento de caudal en los cierres causando una variación en los puntos 2 y 4 de 22.08 y 12.18 % respectivamente. El menor caudal promedio fue observado en el punto 3 con un caudal de 0.28 L/s, mientras que su cierre presentó el mayor valor promedio con 3.22 L/s. La alta variación que presentan los datos en el punto 2 es causada por la presencia de extracciones para uso agrícola, provocando valores más altos que el punto 4 el día viernes, pero también más bajos que su nacimiento como el día lunes. Sin la presencia de estas extracciones los caudales esperados para el punto 2 son mayores que los del punto 4, debido a que la unidad intervenida posee un área mayor. Los valores promedio del caudal son mostrados en el Apéndice C y el comportamiento del caudal durante las jornadas de muestreo se aprecia en el Apéndice H.

3.3.3.2. pH. Los valores de pH obtenidos se encuentran dentro del rango recomendado para el consumo humano (6-8) y la agricultura(6-8.5) (Organización Mundial de la Salud (OMS), 2018), (Ayers y Westcot, 1985). Cabe resaltar la similitud entre los valores en los dos cierres (punto 2 y 4) y el valor alto del punto 1 tal vez es causado porque el nacimiento de la cuenca se encuentra en una zona de drenaje focalizada pocos metros arriba del punto de muestreo, lo que produce una carga de minerales disueltos que aumentan el pH. El punto 3 posee el valor más cercano a neutro y posiblemente debe su bajo valor en relación con los otros puntos a focos de materia orgánica natural en descomposición cercanos al punto de muestreo que producen la disminución en el pH. El Apéndice I muestra los valores de pH durante las jornadas de muestreo. Los valores promedio de pH se aprecian en la Tabla 5.

3.3.3.3. Alcalinidad. Los valores en las unidades hidrológicas tuvieron el mismo comportamiento en los puntos 2, 3 y 4 con valores entre 20.3 y 21.66 mgCaCO₃/L. Se presentaron aumentos en la alcalinidad en presencia de lluvia, posiblemente provocados por el aumento de minerales disueltos por la precipitación y son arrastrados al afluente. El punto 1 obtuvo una alcalinidad promedio de 27.08 mgCaCO₃/L, debido a que el agua proviene de una zona de recarga generada por el agua infiltrada de la lluvia; además su alta concentración el Lunes pudo ser provocada por la disminución del caudal el cual aumentó la concentración de minerales disueltos. Los valores recomendados de alcalinidad en aguas potables son de 100 a 200 mgCaCO₃/L, por debajo de este valor pueden causar corrosión debido a que el agua es susceptible a cambios de pH, por encima del rango se generan incrustaciones de costras calcáreas constituidas por cristales insolubles de carbonatos cálcicos y magnésicos en las tuberías (Mechenich y Andrews, S.F). De acuerdo con la alcalinidad se corre un riesgo para el medio ambiente, ya que en ocasiones su valor es menor a 20 mgCaCO₃/L en donde algunas especies se ven vulnerables a cambios drásticos de pH (EPA, 2018).

3.3.3.4. Temperatura del agua. La tendencia de la temperatura durante la jornada de muestreo fue constante, pero se resalta que durante la jornada de lluvia del día lunes la temperatura en los cierres tuvo una disminución gradual. Este comportamiento es mostrado en el Apéndice J. Los resultados de la temperatura promedio muestran que los nacimientos tienen una temperatura similar siendo de 10.04°C en el nacimiento de la unidad no intervenida y de 10.12°C en la intervenida. El mismo comportamiento se observó en los cierres en donde la temperatura promedio fue de 14.16°C en la unidad no intervenida y de 13.7°C en la intervenida, esta diferencia fue tal vez provocada por debido a que los nacimientos se encuentran menos expuestos al sol por la presencia de árboles mientras que los cierres se encuentran a campo abierto. Como se observa en la Tabla 5.

3.3.3.5. Oxígeno Disuelto. Los resultados de la cantidad de oxígeno disuelto (OD) en los puntos de muestreo dieron valores entre 5.8 y 6.5 mgO₂/L siendo el valor más alto el nacimiento de la unidad intervenida y el valor más bajo en el nacimiento de la no intervenida como se aprecia en la Tabla 5. Los valores obtenidos se encuentran en rangos aceptables y permiten la vida de la mayoría de los peces y otras especies (OD > 4 mgO₂/L) (Clavijo y Granja, 2016). El punto 3 tuvo un comportamiento irregular y tal vez debe su baja cantidad de oxígeno disuelto de 5.88 mgO₂/L a la materia natural en descomposición presente en el cauce y en sus alrededores. Los resultados indican un comportamiento diferente según la UH, en la intervenida el oxígeno disuelto decrece mientras que en la UH no intervenida aumenta, esto se debe a que en la unidad intervenida el nacimiento posee una mayor cantidad de oxígeno disuelto que probablemente es consumido por las bacterias a través de su trayecto, por el contrario, el nacimiento de la no intervenida posee menor oxígeno disuelto que fue regulado gracias al aumento de caudal y la aireación de la pendiente.

- **3.3.3.6. Coliformes totales.** En las unidades se puede evidenciar una clara contaminación con coliformes totales en donde se obtuvo valores máximos de 5,000UFC/100ml, mientras en un estudio previo realizado en la bocatoma del municipio de Berlín, se encontraron valores de coliformes totales de 390 a 25 UFC/100ml (Hernández, 2018). A través del recorrido del agua en ambas unidades este parámetro aumenta como se evidencia en la Tabla 5, en donde los valores promedios de coliformes totales en los puntos 1 y 3 están cercanos a 2,000 y los cierres a 3,000 UFC/100ml. La contaminación es causada principalmente por la materia natural en descomposición que cae al agua, el arrastre de desechos del ganado y estiércol a través de la escorrentía, además de posibles aguas negras que se filtran del pozo séptico. El punto 1 mantuvo un valor constante debido a que este nacimiento se encuentra en una zona de drenaje en donde fluyen constantemente el agua de lluvia y subterránea (Apéndice B). En relación a los rangos de contaminación, el agua no es apta para el consumo ya que para ser consumida no debe haber presencia de coliformes (OMS, 2018), (Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente Vivienda, 2007).

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Tabla 5.

Resultado de parámetros físico químicos y microbiológicos analizados

Parámetros	Unidad	Punto				OMS ¹	Resolución 2115/2007 ²	Valores recomendados				
		1	2	3	4			Agricultura ³	Pecuario ³	Vida acuática ⁴	Decreto 1594/84 ⁵	
											tratamiento convencional	cloración
pH	UN	7,58±0,03	7,38±0,04	6,85±0,02	7,31±0,08	6.5-8		06-ago		6.5-9	5.0-9	6.5-8.5
Turbiedad	NTU	3,20±0,59	3,57±1,24	1,31±0,52	3,99±2,62		<2			<8		190
Conductividad	µS/cm	27,34±1,05	43,36±4,52	36,29±0,08	32,62±3,11			<3000	<1500			
Alcalinidad Total	mg CaCO3/L	27,08±6,18	20,30±7,03	21,66±7,14	20,99±7,69		<200					
Dureza Total	mg CaCO3/L	82±5,29	78±12,49	88,33±12,5	97,33±24,84		<300					
Dureza Cálctica	mg CaCO3/L	63±1,73	53,33±17,01	62,66±19,7315	56,33±21,22							
Oxígeno Disuelto	mg O2/L	6,56±0,2	6,43±0,12	5,88±0,21	6,2±0,17							
SST	mg/L	7,66±0,58	9,66±1,15	11±3	9,66±0,577							
Sólidos Totales	mg/L	23,66±3,79	31,33±4,04	27,33±3,06	24±1							
SDT	mg/L	16±1,53	21,66±3,72	16,33±0,19	14,33±1,5			<2000				
Nitratos	mg NO3 -/L	1,77±2,32	5,31±0,44	1,95±1,73	1,51±1,3	<50	<10	<10	NO3+NO2<100	<13	10	10
Nitritos	mg NO2-/L	0,083±0,015	0,103±0,04	0,11±0,061	0,107±0,038	<3	<0,1		<10	<0.6	10	10
Nitrógeno Total	mg N/L	17,32±2,31	16,05±0,05	15,19±3,02	16,62±1,09							
Nitrógeno Amoniacal	mg NH4/L	7,85±0,25	7,61±0,56	7,84±0,44	7,93±0,07			<5				
Fosfatos	mg PO4-3 /L	0,01±0,002	0,009±0,003	0,01±0,001	0,008±0,003		<0,5	<2				
Fósforo Total	mg P/L	0,17±0,04	0,23±0,01	0,20±0,05	0,20±0,03							
% Sat. de Oxígeno	%	93±1,3	92±1,5	85±2	90±0,4							
Potasio	mg K/L	0,21±0,025	0,58±0,359	0,24±0,087	0,22±0,062			<2				
Coliformes Totales	UFC/100 ml	1859,33±134,2	2853,33±1930,5	2201,33±1469,9	2786,67±1998,2	0	0				20000 ⁶	1000 ⁶
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	1043,33±513,2	2283,33±1808,7	1916,66±1635,7	2440±2075,31	0	0				2000 ⁶	
Escherichia coli	UFC/100 ml	50,77±31,31	343,17±93,33	81,78±36,29	118,29±67,93	0	0					

Fuente. 1.(OMS, 2018), 2.(Ministerio de la Protección Social and Ministerio de Ambiente Vivienda), 3(Ayers y Westcot, 1985), 4.(Canadian Council of Ministers of the Enviroment, 2018), 5. (Ministerio de Agricultura, 1984), 6. En NMP microorganismos /100ml.

3.3.3.7. Coliformes fecales. Dentro del grupo de los coliformes se encuentran los coliformes fecales que se caracterizan por estar presentes en los desechos de los mamíferos (Camacho, Giles, Ortegón, Palao y Serrano, 2009). En promedio los valores se encontraron en un rango de 1000 y 2500 UFC/100ml en donde los nacimientos obtuvieron los valores más bajos y los cierres lo más elevados, como se observa en la Tabla 5. De acuerdo con el número de coliformes fecales, el agua puede ser utilizada en la agricultura debido a que solo es riesgoso para la salud su uso en riego cuando los coliformes se presentan en valores de 10^4 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) 2013). Estudios realizados en la quebrada Arenales que se encuentra cercana al municipio de Berlín han encontrado valores entre 790 y 2400 NPM/100ml (Báez, 2011), confirmado que los valores encontrados se encuentra por encima de lo normal teniendo en cuenta que este análisis se realizó en nacimientos y los cierres no están lejanos a ellos. El aumento en los coliformes fecales se puede deber al estiércol bovino y las aguas negras descargadas en una zona en medio de los cultivos.

3.3.3.8. Escherichia coli. La *Escherichia coli* es una especie de coliformes fecales que puede causar enfermedades (Department of Health and Human Services, 2009) como la diarrea, fiebre y dolor abdominal. En general los resultados se presentaron entre 26 y 493 UFC/100ml, con valores promedios en rango de 32 y 94, por encima de los valores encontrados en la bocatoma vereda de Berlín que están entre 11 y 72 UFC/100ml (Hernández, 2018). Debido a las altas lluvias del día lunes en los análisis de *Escherichia coli* se pudo observar un aumento significativo en el número de UFC comparado con los otros días, esta tendencia se puede observar en el Apéndice D. El punto que contenía mayor número de UFC/100 ml fue el punto 4 con un promedio de 343, mientras que el punto que obtuvo el menor número fue el punto 1 con 51 como promedio. Un detalle que se puede evidenciar que la variación entre el nacimiento y

cierre es mayor en la unidad intervenida, obteniendo un coeficiente de variación promedio de 107% para la unidad, mientras que la unidad no intervenida tiene un coeficiente promedio de 42%. El valor de *Escherichia coli* en la zona es posiblemente causado por la presencia de estiércol bovino cerca de las fuentes de agua, aguas residuales y defecación a campo abierto. En aguas para consumo humano se recomienda que no se tenga ninguna presencia de *E. coli* (OMS, 2018). Debido a la diferencia entre los resultados de *E. coli* y coliformes fecales no es usual, se deben seguir realizando estudios sobre estos parámetros para profundizar en la relación de estos, a su vez como son afectados por la zona y la temperatura. El comportamiento de este parámetro es mostrado con más detalle en el Apéndice K.

3.3.3.9. Dureza total y dureza cálcica. Los valores promedio registrados durante la campaña indican que el agua presenta un comportamiento moderadamente duro, el cual va en un rango de 75 – 150 mgCaCO₃/L (Romero, 2005), estos parámetros no presentan riesgo para la salud humana, pero en valores altos se presentan inconvenientes en tuberías y uso doméstico como incrustaciones en las paredes de tuberías y la disminución de la efectividad de los jabones (Mechenich y Andrews, S.F).

Al analizar el comportamiento diario se evidencia que los días Lunes y Miércoles la dureza aumentó durante el recorrido del agua en la UH intervenida y disminuyó en la UH no intervenida. El día viernes presentó un comportamiento contrario a los anteriores y pudo ser provocado por iones de calcio Ca²⁺ y magnesio Mg²⁺ (Earland y Raven, 1971) disueltos de rocas carbonatadas que fueron arrastrados por la lluvia aguas abajo. Sumado a esto, varios de los agroquímicos utilizados en los cultivos contienen magnesio (Alarm, Borozinco foliar y Rhodaz)

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

y al presentarse precipitaciones estos pueden ser disueltos y llegar al agua. Los valores de dureza se encuentran muy por debajo del límite permitido por la Resolución 2115 del 2007 que indica los parámetros de calidad para el consumo humano, correspondiente a 300 mgCaCO₃/L (Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente Vivienda, 2007). Un valor estándar de dureza en ecosistemas de alta montaña es de 24 mgCaCO₃/L (Güiza y Perea, 2019), a pesar de esto este valor varía dependiendo la época del año en relación a las lluvias en las cuales tiende a aumentar.

La dureza cálcica presenta un comportamiento constante, con valores promedio entre 53.33 y 63 mgCaCO₃/L durante los días de campaña a excepción del día Viernes, en donde disminuyó aproximadamente 30 mgCaCO₃/L en los puntos 2, 3 y 4 a causa de la lluvia. Esto relacionado con la dureza total indica que la concentración de calcio disminuye porque está siendo diluido tal vez por el aumento de caudal en el afluente.

3.3.3.10. Sólidos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos. Los resultados indican un comportamiento diferente de las UH, en la intervenida estos parámetros crecen durante el recorrido mientras que en la UH no intervenida se mantienen estables o decaen se especifican en la Tabla 5; estas variaciones dependen de la materia orgánica, la precipitación, la cobertura natural y la escorrentía. Se atribuye el aumento de los sólidos totales, disueltos y suspendidos en la UH intervenida a la remoción de la cobertura natural del suelo remplazada por los cultivos que disminuye la protección del suelo frente a la erosión. Estos parámetros están relacionados con el aumento en la conductividad eléctrica ya que los sólidos disueltos totales están relacionados con la cantidad de sales y minerales en el agua. El mayor valor de sólidos

suspendidos el nacimiento de la UH no intervenida, es producto de la descomposición natural de la vegetación que rodea este punto.

3.3.3.11. Conductividad eléctrica. Al comparar los valores de conductividad eléctrica, se pueden apreciar que tienen un valor bajo en relación con los valores aceptables máximos para el agua potable que pueden ser de hasta 1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente Vivienda, 2007) y se consideran adecuadas para riego, pues indican una salinidad muy baja (James, Hanks y Jurinak, 1982). Cabe resaltar que el punto 1 posee los valores de conductividad promedio más bajos con 27.34 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pero este mismo afluente al llegar al cierre toma el máximo valor medido con un promedio de 43.36 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras tanto los puntos 3 y 4 poseen valores muy similares con 36.29 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 32.62 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como está mostrado en la Tabla 5. Esta información se puede evidenciar en el Apéndice L. La variación entre el nacimiento y el cierre toma importancia, debido a que se puede apreciar una diferencia significativa entre la variación de la conductividad eléctrica entre las dos unidades, siendo el coeficiente de variación de la unidad intervenida de 32 % y de la no intervenida de 7%. Esto puede indicar que este parámetro tiene un aumento causado por la agricultura, asociado a la pérdida de cobertura vegetal que protege los suelos de la erosión, causando un aumento de sólidos en la unidad. Esta variación se ve aumentada en momentos de lluvia en donde la cuenca intervenida llegó a tener una variación máxima de 38.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y es posiblemente provocada por el arrastre de partículas del suelo descubierto de los cultivos que contienen sales, minerales y nutrientes. Se obtuvieron algunos valores inusuales atribuibles a un aumento de turbiedad y sólidos disueltos en los lugares de la toma de muestra.

3.3.3.12. Nitratos. El comportamiento del nitrato presenta diferencias entre las dos UH. En la no intervenida este parámetro se mantiene estable a diferencia de la UH intervenida que durante el recorrido del afluente aumenta. El rango de valores estuvo entre 1.5 y 1.9 mgNO₃⁻/L pero se evidencia una diferencia en el punto 2 que obtuvo un promedio de 5.31 mgNO₃⁻/L. Los valores de nitrato en las corrientes superficiales se encuentran normalmente debajo de 2 mgNO₃⁻/L (Romero, 2005) y cuando este aumenta por encima de 5mgNO₃⁻/L se podría atribuir a contaminación provocada por efectos antrópicos; en este caso los fertilizantes y desechos de animales (Kinstach, 1996). Los resultados de nitrato en ningún momento llegaron a valores por encima de lo recomendado por la OMS y la Resolución 2115 de 2007 para consumo humano los cuales son 50 y 10 mgNO₃⁻/L respectivamente (OMS, 2018), (Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente Vivienda, 2007). Sin embargo, este estudio se realizó en dos UH en la parte alta del río Jordán. Así que es posible debido a la agricultura de la zona que en la parte baja estos niveles sean mayores. Este parámetro es de especial cuidado ya que afecta a los niños y mujeres embarazadas, produciendo en los infantes metahemoglobinemia (de Fernícola, 1989).

3.3.3.13. Nitritos. Los días Lunes y Miércoles las medidas de nitrito fueron cercanas en todos los puntos, los valores promedio se encontraron en un rango de 0.08 a 0.11 mg NO_2^-/L según la información provista en la Tabla 5. El día viernes hubo un aumento en la concentración de nitrito en las unidades, probablemente causado por la precipitación presentada el viernes que arrastro los nutrientes en la escorrentía (Sigler y Bauder, 2013). El nivel se mantuvo por debajo del máximo permitido por las recomendaciones de la OMS, Resolución 2115 de 2007 y FAO a excepción del día viernes que se presentó un aumento en los niveles de nitrito, causando que los valores no cumplieron con el rango propuesto en la Resolución 2115 de 2007 (Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente Vivienda, 2007). Los resultados de nitrito no presentan un riesgo para la salud (OMS, 2018). Estudios han encontrado rangos de nitrito en aguas superficiales bien oxigenadas entre 0,05 a 0,12 mg NO_2^-/L (Kimstach, 1996).

3.3.3.14. Nitrógeno total. El nitrógeno total promedio en las cuencas registró valores de 17.32 a 15.19 N mg/L. El mayor se presentó en el punto 1 y el menor en el punto 3. El rango normal de nitrógeno total presente en el agua se encuentra entre 2 y 6 N mg/L (EPA, 2007), lo que indica que en ambas UH hay un exceso muy marcado de nitrógeno, probablemente causado por la presencia de estiércol en las UH y los fertilizantes ricos en este nutriente como Aminaset, Borozinco foliar y Wuxal.

3.3.3.15. Nitrógeno amoniacal. En las unidades el valor promedio de nitrógeno amoniacal fue de 7.61 a 7.93 mg NH_4/L . según la FAO el nivel máximo de nitrógeno amoniacal recomendado para las aguas de uso agrícola es de 5 mg/L. Cuando el valor es mayor los cultivos sensibles a este parámetro como los cítricos y el aguacate, tienden a retrasar su maduración, pero en otros casos el tamaño de la cosecha aumentan con respecto al aumento de este parámetro (Ayers y

Westcot, 1985). El valor elevado que se obtuvo en las dos UH puede ser causado por residuos de la agricultura, fertilizantes y la urea que es uno de los desechos del ganado.

3.3.3.16. Turbiedad. El rango promedio de turbiedad se presentó entre 1.31 y 3.99 UNT. Como era de esperarse, en los nacimientos se presentaron valores más bajos y al fluir el agua este valor aumentó. Según la OMS el agua de consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 UNT y de acuerdo con la Resolución 2115 de 2007 el agua debe estar a menos de 2 UNT. Por lo tanto, el agua debe ser tratada para su consumo, ya que en ocasiones estos valores son superados como se puede evidenciar en el Apéndice B. A pesar de esto se encuentra en un rango normal para fuentes superficiales entre 1 y 8 UNT (EPA, S.F).

3.3.3.17. Fósforo total. Los puntos de muestreo tuvieron valores promedio de 0.17 a 0.23 mgP/L, al compararlos con el rango normal del fósforo en las aguas que es de 0.01 y 0.13 mgP/L (EPA, S.F) se evidencia una contaminación posiblemente causada por las prácticas agrícolas como la fertilización y remoción de la capa vegetal que protege los suelos de la erosión, agua y aire. Esta contaminación puede provocar la eutrofización (Fernandez y Solano, 2005). Al comparar los dos cierres se evidencia que se presentó un mayor valor de fósforo en el cierre de la unidad intervenida.

3.3.3.18. Fosfatos. El valor promedio de los fosfatos para los tres días y para las dos UH fue de 0.01 mg PO_4^{-3} /L, lo que indica valores muy estables y con poca variación. La concentración recomendada de fosfatos en el agua es de 0.005 a 0.05 mg PO_4^{-3} /L (Kotoski, 1997). Debido a que los niveles de fósforo total son altos y los fosfatos bajos, la contaminación presentada en el fósforo total es posiblemente causada por fertilizantes, fungicidas y herbicidas utilizados en el

cultivo como Wuxal, Rhodax y Glifosol, ya que los fosfatos son indicadores de fósforo inorgánico (Cerón y Aristizábal, 2012).

3.3.3.19. Potasio. Los valores registrados presentan un comportamiento diferente entre las dos UH. La no intervenida mantiene valores promedio estables entre 0.24 y 0.22 mgK/L, mientras que en la UH intervenida se evidencia un claro aumento en la concentración de potasio el día lunes con un valor de 0.23 y 0.85 mg/L en nacimiento y cierre. Este aumento es atribuido al uso de fertilizantes, como Aminaset y Wuxal, y por acción de la precipitación y la escorrentía que arrastran sedimentos hacia las corrientes. A pesar del aumento, el potasio sigue estando dentro del recomendado para el uso de riego que es de 0-2 mgK/L (Ayers y Westcot, 1985).

3.3.4. Índices de contaminación (ICO) Como resultado del análisis se evidencia que los índices ICOMI, ICOSUS e ICOPH indican que no existe contaminación causada por la mineralización, sólidos suspendidos y pH respectivamente, al comparar los valores con el Apéndice F, que presenta la clasificación de la contaminación según el rango de valor de los índices. El día viernes el índice ICOMI en el punto 4 alcanzó a tener un valor de 3.5 aumentando su grado de contaminación en un nivel, clasificándose como poca contaminación, mientras en los demás fue consecuente con los días anteriores. Esto fue causado por el incremento de dureza que presentó el día viernes. El ICOTRO dio como resultado que los puntos analizados se encuentran en categoría eutrófica, lo que significa que el fósforo está en niveles en donde puede provocar eutrofización causando un aumento en las algas y especies acuáticas que normalmente no se desarrollarían (Fernandez y Solano, 2005). Esto se evidencia con mayor detalle en el Apéndice G. Los resultados de los índices de contaminación son mostrados en la Tabla 6. Al comparar el

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

comportamiento de los índices en las unidades, se observa que la unidad intervenida presenta una menor contaminación por minerales, pero una mayor contaminación por pH con respecto a la unidad no intervenida. El mayor ICOSUS se encontró en el nacimiento de la no intervenida, pero al hacer la comparación entre los dos cierres fue mayor en la unidad intervenida. Este comportamiento se puede apreciar en el Apéndice M.

Tabla 6.

Índices de contaminación promedio ICO de los puntos de muestreo.

Punto	ICOMI	ICOSUS	ICOpH	ICOTRO
1	0.088	0.000	0.005	Eutrófico
2	0.093	0.004	0.004	Eutrófico
3	0.132	0.012	0.001	Eutrófico
4	0.181	0.007	0.003	Eutrófico
Contaminación	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Eutrófico

3.4. Estrategias de gestión.

Durante la caracterización de los cultivos se pudo evidenciar que se realizan varias prácticas agrícolas que no son recomendadas y pueden traer daños al ecosistema, la calidad del agua, salud de las personas y el suelo de los cultivos. Por esta razón, se plantearon una serie de estrategias que son clasificadas por las acciones que pueden ser realizadas por la comunidad y por acciones que pueden ser realizadas por instituciones a las que competan la prácticas agrícolas como el Instituto Colombiano Agropecuario, instituciones enfocadas en la protección del medio ambiente como la Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) e instituciones universitarias que podrían prestar apoyo a los agricultores. Las estrategias de gestión se muestran en el Apéndice M.

3.4.1. Estrategias enfocadas en la comunidad. Una de las causas de la contaminación es el aumento de la erosión provocada por la lluvia y el viento que es incrementada por la remoción de la cobertura natural (de Mello, Valente, Randhir, dos Santos y Vettorazzi, 2018). Se propone

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

que la realización de los surcos se haga en contra de la pendiente o en algunos casos en curvas de nivel en zonas de ladera para evitar el arrastre de suelo y además disminuir la velocidad de la escorrentía aumentando la absorción de los suelos y con esta su humedad (FEDEPAPA y MINAMBIENTE, 2004). Prácticas inadecuadas de fertilización inciden negativamente en enfermedades que afectan al cultivo e incrementan la cantidad de nutrientes en el agua. Para la solución de este problema se recomienda evitar la utilización de fertilizantes en dosis incorrectas (Información evidenciada en la entrevista realizada) y el uso de estiércoles mal compostados promoviendo una adopción de técnicas caseras para la elaboración de abonos a base de residuos agrícolas y estiércoles. Además, al momento de la cosecha, realizar una recolección de los residuos y una debida disposición (FEDEPAPA y MINAMBIENTE, 2004). La presencia de *Escherichia coli* en las aguas es causada por el ganado bovino que es puesto a pastar e hidratar en las cercanías de las fuentes hídricas, para esto se espera que la comunidad empiece a reconocer este problema ubique bebederos para el ganado que se encuentren a una distancia prudente de las fuentes hídricas y evite la parencia prolongada de ganado cerca de estos mismo. Para evitar la posible presencia de agroquímicos como plaguicidas en las aguas, se recomienda realizar una correcta dosificación de estos a la hora de aplicarlos a las plantas; y sumado a esto se recomienda realizar una correcta disposición de los residuos de las fumigaciones, además de una adecuada limpieza de los equipos y empaques (FEDEPAPA y MINAMBIENTE, 2004).

3.4.2. Estrategias enfocadas a instituciones. Se propone realizar un acercamiento de la comunidad con las instituciones como ICA y la CDMB para realizar capacitaciones educativas acerca de los procesos sostenibles de preparación de cultivos, siembra, riego, fertilización, uso de agroquímicos, cosecha y post-cosecha. A su vez la CDMB puede dar indicaciones sobre el

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

correcto uso del agua y el comportamiento de los ecosistemas de páramo para sensibilizar a la comunidad sobre el impacto que está realizando.

Uno de los puntos más importantes que deben tratar las instituciones es la falta información relevante, de fácil comprensión y acceso a la comunidad sobre las buenas prácticas agrícolas. Para esto, se espera que se realicen folletos informativos, guías y manuales de cultivo que contengan los procesos de cultivo recomendados para la conservación de los ecosistemas de páramo.

La brecha que existe entre la información científica y las prácticas agrícolas es amplia. Se recomienda que las instituciones universitarias realicen extensión e investigaciones que favorezca el conocimiento del impacto de las actividades antrópicas sobre el páramo y la mejora de las técnicas agrícolas utilizadas por la comunidad.

4. Conclusiones

La actividad agrícola en el páramo de Berlín se basa en el cultivo de papa y cebolla Junca. Los agricultores realizan sus prácticas basados en la experiencia o tradición de su zona, lo que da como resultado algunas prácticas contrarias a lo recomendado por el Instituto Colombiano Agropecuario y a la guía para el manejo de la cebolla Junca como espacios de 30 cm o inferior entre plantas utilizar la misma cantidad de fertilizante en cada cosecha. Existen prácticas acordes a las recomendaciones sugeridas en la literatura, como el uso de compost procesado. El cuidado de los nacimientos de las UH, o el tiempo entre cosechas, pero estas no son prácticas generalizadas y varían de un agricultor a otro, es necesario impulsar una mejor tecnificación y

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

desarrollar jornadas de socialización con la comunidad en donde se instruya sobre la dosificación correcta de agroquímicos y prácticas agrícolas sostenibles

La clasificación de contaminación obtenida de los índices ICO fue la misma para todos los puntos, siendo esta inferior a 0.2 y clasificada como ninguna en la escala de contaminación. Se observó en los resultados de laboratorio que los valores de turbiedad, nitritos, coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* son superiores a los propuestos por la OMS para agua potable, el nitrógeno amoniacal no cumple la concentración mínima permitida según la FAO para agricultura y según la Resolución 2115 de 2007 la turbiedad, nitritos, coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*. Los mencionados anteriormente presentan valores por encima de los límites propuestos para agua potable. Los valores registrados de pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, alcalinidad, dureza total, SDT, nitratos y fosfatos que se encuentran en niveles óptimos según OMS, FAO y la Resolución 2115 de 2007. Es importante mencionar que la conductividad eléctrica, sólidos totales nitratos, SDT, y el potasio presentaron un cambio significativo de una UH a la otra en los cierres. Todos estos cambios podrían ser atribuibles a las prácticas agrícolas de la zona como exceso de fertilizantes, ganadería y el nulo descanso del suelo.

La presencia de nitrógeno total, potasio, fósforo total, *Escherichia coli*, coliformes fecales y coliformes totales es alta para los nacimientos de las UH y se debe a la presencia de estiércol cercano a estos puntos. Los coliformes se ven aumentados en los cierres después de recorrer las áreas de estudio siendo el mayor numero 342 UFC en la UH intervenida y 118 UFC para la UH no intervenida para *Escherichia coli*.

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Se requiere ejecutar estrategias de gestión que mitiguen el impacto de las actividades antrópicas sobre los cuerpos de agua. Estas deben ser administradas por la comunidad y las instituciones públicas. Las recomendaciones más relevantes son encerrar los nacimientos de agua y puntos estratégicos del ecosistema para impedir el acceso del ganado, además de disponer de bebederos para los bovinos para evitar su proximidad a las fuentes. Acercar a la comunidad a nuevas técnicas y conocimientos científicos, también realizar estudios detallados que ayuden a comprender el comportamiento del ecosistema y seguir las recomendaciones sobre dosis de fertilizantes plasmadas en guías de cultivo para evitar una fertilización excesiva. En su mayoría se encuentran enfocadas a la mejora de las prácticas por parte de los agricultores y a la capacitación de los mismos.

5. Recomendaciones.

Realizar análisis de laboratorio para determinar la presencia de fungicidas e insecticidas expuestos en este artículo por lo tanto se requieren análisis de carbamatos, triazinas, piretroides en las fuentes hídricas ya que es uno de los estándares según la Resolución 2115 del 2007 y la OMS para determinar si el agua es potable.

Se sugiere la sustitución de los fungicidas Alarm w80 y Rhodax debido a que estudios realizados en universidades de Brasil concluyeron que el mancozeb presente en los fungicidas puede provocar enfermedades neurológicas, depresión e irritabilidad (Girardi, 2016). Además, se recomienda un estudio sobre las afectaciones en la salud que los demás agroquímicos utilizados en esta zona pudieran causar a los agricultores.

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Elaborar análisis fisicoquímicos y biológicos a un nacimiento que presente poca o ninguna actividad, o contaminación antrópica y así determinar valores de referencia de la calidad del agua de un nacimiento de páramo sin ningún grado de intervención y compararlas con las expuestas en estas UH.

Se debe realizar entrevistas a un grupo más amplio y representativo de agricultores de la zona para poder hacer un análisis más completo sobre las diferentes prácticas de cultivo.

Actualmente el agua no es potable, incluso en sus nacimientos, pero podría recomendarse utilizar un tratamiento conformado por filtración para llevar la turbiedad a menos de 2 UNT y cloración para eliminar la contaminación microbiológica. Es necesario realizar más análisis para determinar el tipo de partículas que causan la turbiedad, así como la presencia de agroquímicos para tener el criterio para decidir si debería ser restringida de otros usos.

Referencias Bibliográficas

Alfaro, M. y Salazar, F. (2005) Ganadería y Contaminación Difusa, Implicancias para el Sur de Chile. *Agricultura Técnica*. vol. 65, no. 3.

Ayers, R. y Westcot, D. (1985) Water Quality for Agriculture. *FAO UNITED NATIONS. Rome, Italy*.

Báez, A. (2011) Informe De La Red De Monitoreo De Calidad De Agua Primer Semestre. *Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga*.

Buytaert, W., et al. (2006) Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Review*. vol. 79, no. 1–2, pp. 53–72.

Camacho, A., Giles, M., Ortegón, A., Palao, M. y Serrano, B. (2009) Técnicas para análisis microbiológico. pp. 1–17.

Cámara de Comercio de Bogotá (2015) Manual: La papa. Programa apoyo agrícola y agroindustrial.

Canadian Council of Ministers of the Environment (2018) Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life.

Carrascal, E. (2011) Guía para el manejo del cultivo de la cebolla junca.

Castellanos, L. y Pérez, S. (2018) Sostenibilidad Hídrica en cultivos de cebolla larga, Junca (*Allium fistulosum* Linnaeus) en la cuenca media del río Otún del departamento de Risaralda. UNAD. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente.

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Celis, A. (2019) Evaluación de los efectos del cambio de uso de suelo y cobertura sobre los servicios de abastecimiento y regulación hídrica ofertados por unidades hidrográficas de páramo.

CEPAL (2018) Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe.

Cerón, L. and Aristizábal, F. (2012) Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. Revista Colombiana de Biotecnología. vol. 14, no. 1, pp. 285–295.

Clausen, J. y Spooner, J. (1993) Paired catchment - USEPA. PDF. Recuperado de: https://www.epa.gov/sites/production/files/201602/documents/chapter_2_draft_aug_2014.pdf

Clavijo, A. y Granja, K. (2016) Análisis del estado de conservación ambiental de la microcuenca del Río Chamachán en la parroquia Mariano Acosta, provincia de Imbabura , a través de indicadores físicos, bióticos, socioeconómicos. BIBDIGITAL. Escuela Politécnica Nacional. Quito. p. 189.

Corte Constitucional de Colombia (2017) Sentencia T-361/17 DERECHO DE PARTICIPACION EN MATERIA AMBIENTAL EN EL MARCO DE LA EXPEDICION DE RESOLUCION QUE DELIMITO PARAMO DE SANTURBAN. Recuperado de: <http://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2017/t-361-17.htm>.

DANE (2015) La cebolla de rama o cebolla junca (*Allium fistulosum*), una hortaliza de gran importancia en la alimentación humana. Insumos y Factores Asociados a la Producción Agropecuaria.p.p 1–14.

Delagua (2015) DelAgua Kit Manual Version 5.0. Recuperado de: www.delagua.org

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Department of Health and Human Services (2009) Protéjase de las bacterias coliformes en el Agua de su pozo. North Carolina Public Health. pp. 1–3.

Dressing, S. y Meals, D. (2005) Designing water quality monitoring programs for watershed projects. Tech Notes 2, no. July, pp. 1–20.

Earland, C. y Raven, D. (1971) Determination of the hardness of water. Exp. Text. Fibre Chem., pp. 6–8.

EPA (2007) Total Nitrogen. no. 415, p. 3432.

EPA (2018) Surface Water Quality Standards. p. 84.

EPA (Sin fecha) Summary Table for the Nutrient Criteria Documents These tables present the recommended EPA criteria for each of the aggregate nutrient. Rivers.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2013) Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?(Informe sobre temas hídricos FAO).

FEDEPAPA y MINAMBIENTE (2004) GUÍA AMBIENTAL PARA EL CULTIVO DE LA PAPA. pp. 30–34.

Fernandez, N. y Solano, F. (2005) Indices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial. Índices Calidad Y Contaminación del Agua.

de Fernícola, N. (1989) Metahemoglobinemia infantil causada por nitratos. Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana. vol. 106, no. 1. pp. 32–40.

EFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

García, M. (2018) Protocolo de monitoreo hidrológico en páramos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. p. 174.

Girardi, G. (2016) Por que o Rio Grande do Sul é a região com mais suicídios do país. Santa Cruz do Sul.

Güiza, A. y Perea, D. (2019) Revisión sistemática de literatura para establecer el efecto del uso del suelo sobre la calidad del agua en ecosistemas de alta montaña. Noesis. Repositorio Institucional. UIS. p. 81.

Hall, R., Leavitt, P., Quinlan, R., Dixit, A., y Smol, J. (1999) Effects of agriculture, urbanization, and climate on water quality in the northern Great Plains. Association for the Sciences of Limnology and Oceanography. vol. 44, no. 3part2, pp. 739–756.

Hernández, C. (2018) Evaluación de la Sostenibilidad de Abastecimientos de Agua Rurales Colectivos en Ecosistemas de Páramo, con Énfasis en la Oferta Hídrica en Cantidad y Calidad: Caso de Estudio Berlín (Santander-Colombia). Escuela de Ingeniería Civil. UIS.

Hofstede, R. (2001) El impacto de las actividades humanas sobre el páramo Los Páramos del Ecuador, Particularidades, Problemas y Perspectivas.

ICA Instituto colombiano agropecuario (1985) GUIA PARA LA ASISTENCIA TECNICA AGRICOLA Y PECUARIA EN EL DISTRITO DE PAMPLONA. Distrito de Pamplona.

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2017) Protocolo de Monitoreo del Agua.

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. (2019) Páramos y sistemas de vida: Santurbán.

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Instituto Humboldt and Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2014) Informe técnico final de clima insumos y bases de datos sig: levantamiento de inventarios de estaciones meteorológicas en el país, control de calidad de las bases de datos de información climática, análisis de la climatología nacional y generación de productos cartográficos. pp. 145–148.

James, D., Hanks, R., y Jurinak, J. (1982) Modern irrigated soils. New York: John Wiley & Sons.

Kimstach, V. (1996) Selection of Water Quality Variables. Water Qual. Assessments, vol. 5, no. 1989.

Kotoski, J. (1997) Information on Phosphorus Amounts & Water Quality. Spring Harb. Environ. Magn. Middle Sch., pp. 1–4.

Macias, Y. y Omaña H. (2018) Validación de la metodología Corine Land Cover para generación de mapa de cobertura del suelo: caso cuenca del río Jordan (Tona, Santander). Noesis. Repositorio Institucional, Universidad Industrial de Santander. pp. 1–83.

Mechenich, C. y Andrews, E. (Sin Fecha) Interpreting Drinking Water Test Results. University of Wisconsin-Stevens Point. G3558-4. p. 12.

de Mello, K., Valente, R., Randhir, T., dos Santos, A. y Vettorazzi, C. (2018) Effects of land use and land cover on water quality of low-order streams in Southeastern Brazil: Watershed versus riparian zone. Catena, vol. 167, no. September 2017, pp. 130–138.

Ministerio de Agricultura y D.A.N.E. (2013) El cultivo de la papa, *Solanum tuberosum*. Alimento de gran valor nutritivo, clave en la seguridad alimentaria mundial. Insumos y Factores Asociados a la Producción Agropecuaria.

EFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Ministerio de Agricultura (1984) Decreto 1594 de 1984,” Ley 9 1979 - Ley 2811 1974, vol. 1984, no. Junio 26, p. 55.

Ministerio del Medio Ambiente (2002) Programa nacional para el manejo sostenible y restauración de ecosistemas de alta montaña colombiana: Páramos Congr. Mund. páramos - Memorias Tomo I, p. 73.

Ministerio de la Protección Social and Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, “Resolución Numero 2115,” Minambiente, 2017.

OMS. (2018) Guías para la calidad del agua de consumo humano. Organización Mundial de la Salud.

Ongley, E. (2011) Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos Estudios FAO Riego y Drenaje-55.

Otero, J., Figueroa, A., Muñoz, F. y Peña, M. (2011) Loss of soil and nutrients by surface runoff in two agro-ecosystems within an Andean paramo area. Ecological Engineering. vol. 37, no. 12, pp. 2035–2043.

Ramírez, A., Restrepo, R. y Cardenosa, M. (1999) Indices de contaminacion para caracterizacion de aguas continentales y vertimientos. Formulaciones. CT y F - Ciencia, Tecnología y Futuro.

Ramírez, A., Restrepo, R. y Viña, G. (1997) Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. formulaciones y aplicación. CT y F - Ciencia, Tecnología y Futuro.

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Restrepo, J., Suárez, C. y Álvarez, M. (2008) Plan integral de manejo del Distrito de Manejo Integrado de los recursos naturales "Páramo de Berlín". Corporación Autónoma Regional Para La Defensa de la Meseta de Bucaramanga. p. 103.

Romero, A. (2005) Calidad del Agua. ACADEMIA. Segunda Ed. Bogotá.

Rubio, M., Alejandro, C. y Reyes, V. (2014) Evaluación del Grado de Contaminación por Plaguicidas Organofosforados en Cultivos de Cebolla (*Allium fistulosum*) en el Suelo y Agua de Escorrentía en el Corregimiento de la Florida de la Ciudad de Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira. T632.95042 R896;6310000107716 F2804. p.p

Santa Olalla Mañas, F., López, P. (2005) Agua y Agronomía. Mundi-Prensa.

Sigler, W. y Bauder, J. (2013) Nitrate / Nitrite Fact Sheet. Recuperado de: www.Wqa.Org, no. Mcl.

N. Suárez, O. Peña, and A. Amaya, "Cultivando papa complejidad con la naturaleza," Rev. Luna Azul, 2007.

Torres, O. (2010) Evaluación de los costos ambientales en la producción de la cebolla larga en el municipio de Aquitania (Boyacá) y su impacto sobre el ambiente. Universidad Libre. p.p

Torres, P., Cruz, C. y Patiño, P. (2009) Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. vol. 8, no. 15, p. 3.

Uriarte, M., Yackulic, C., Lim, Y., y Arce-Nazario, J. (2011) Influence of land use on water quality in a tropical landscape: a multi-scale analysis. Landscape Ecology. vol. 26, no. 8, p. 1151.

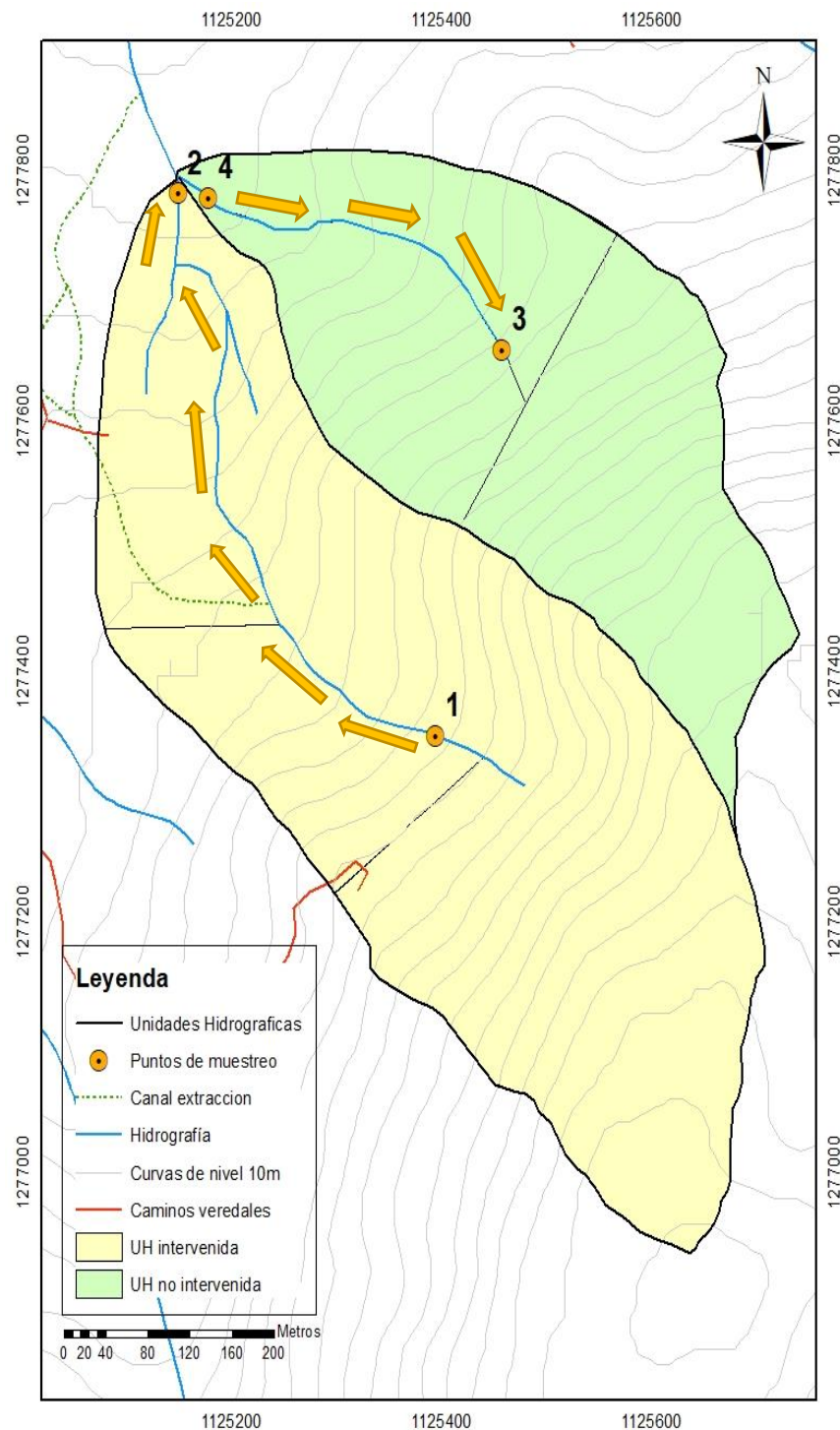
EFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Vera, A., Villamizar, J. y Espinosa, J. (1991) Cultivo de cebolla junca. Servicio Nacional de Aprendizaje. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/11404/5507>

V. y D. T. Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Resolución 2115 DE 2007. 2007.

Apéndices

Apéndice A. Plano de microcuenca objeto de estudio y recorrido salidas de campo



EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Fuente. Elaboración propia.

Apéndice B. Resultados de los parámetros enviados al Laboratorio Químico de Consultas

Industriales de la UIS.

pH [Unidades de pH]	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Alcalinidad [mg CaCO ₃ /L]	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Lunes	7.12	7.12	6.97	6.96	Lunes	20.34	24.35	22.33	26.39
Miércoles	6.64	6.75	6.81	6.74	Miércoles	32.48	12.18	14.21	12.18
Viernes	7.07	6.92	6.80	6.78	Viernes	28.42	24.36	28.45	24.39
Promedio	6.94	6.93	6.86	6.83	Promedio	27.08	20.30	21.66	20.99
Desviación	0.26	0.19	0.10	0.12	Desviación	6.18	7.03	7.14	7.69
Dureza Total [mg CaCO ₃ /L]	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Dureza Cálctica [mg CaCO ₃ /L]	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Lunes	80.00	88.00	97.00	82.00	Lunes	65.00	60.00	76.00	71.00
Miércoles	78.00	82.00	94.00	84.00	Miércoles	62.00	66.00	72.00	66.00
Viernes	88.00	64.00	74.00	126.00	Viernes	62.00	34.00	40.00	32.00
Promedio	82.00	78.00	88.33	97.33	Promedio	63.00	53.33	62.67	56.33
Desviación	5.29	12.49	12.50	24.85	Desviación	1.73	17.01	19.73	21.22
Sólidos Totales [mg/L]	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	SST [mg/L]	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Lunes	28.00	35.00	28.00	24.00	Lunes	8.00	9.00	11.00	10.00
Miércoles	22.00	32.00	24.00	25.00	Miércoles	7.00	9.00	8.00	9.00
Viernes	21.00	27.00	30.00	23.00	Viernes	8.00	11.00	14.00	10.00
Promedio	23.67	31.33	27.33	24.00	Promedio	7.67	9.67	11.00	9.67
Desviación	3.79	4.04	3.06	1.00	Desviación	0.58	1.15	3.00	0.58
Nitratos [mg NO ₃ ⁻ /L]	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Nitritos [mg NO ₂ ⁻ /L]	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Lunes	0.100	5.750	0.100	0.100	Lunes	0.080	0.080	0.080	0.080
Miércoles	0.800	5.310	3.540	2.650	Miércoles	0.070	0.080	0.070	0.090
Viernes	4.420	4.870	2.210	1.770	Viernes	0.100	0.150	0.180	0.150
Promedio	1.773	5.310	1.950	1.507	Promedio	0.083	0.103	0.110	0.107
Desviación	2.319	0.440	1.735	1.295	Desviación	0.015	0.040	0.061	0.038
Nitrógeno Total [mg N/L]	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	N amoniacal [mg NH ₄ /L]	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Lunes	20,04	17,31	12,04	16,04	Lunes	7.99	8.09	8.19	7.86
Miércoles	16,19	17,29	16,40	16,62	Miércoles	7.99	7.76	7.35	7.99
Viernes	17,02	17,24	18,54	18,32	Viernes	7.56	6.99	7.99	7.94
Promedio	17,75	17,28	15,66	16,99	Promedio	7.85	7.61	7.84	7.93
Desviación	2,02	0,04	3,32	1,18	Desviación	0.25	0.56	0.44	0.07
Fósforo Total [mg P/L]	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Fosfatos [mg PO ₄ ⁻³ /L]	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

			3						
Lunes	0.13	0.23	0.15	0.23	Lunes	0.012	0.009	0.011	0.005
Miércoles	0.18	0.23	0.25	0.20	Miércoles	0.009	0.011	0.011	0.008
Viernes	0.20	0.22	0.19	0.18	Viernes	0.009	0.006	0.009	0.011
Promedio	0.17	0.23	0.20	0.20	Promedio	0.010	0.009	0.010	0.008
Desviación	0.04	0.01	0.05	0.03	Desviación	0.002	0.003	0.001	0.003
OD [mg O ₂ /L]	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Porcentaje de Saturación %	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Lunes	7.96	7.12	6.97	7.01	Lunes	108.10	97.80	95.90	96.60
Miércoles	7.53	7.16	7.33	7.38	Miércoles	102.10	96.90	98.90	99.10
Viernes	7.19	7.10	7.16	7.20	Viernes	97.60	96.70	97.40	97.70
Promedio	7.56	7.13	7.15	7.20	Promedio	102.60	97.13	97.40	97.80
Desviación	0.39	0.03	0.18	0.19	Desviación	5.27	0.59	1.50	1.25
Coliformes Totales [UFC/100ml]	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Coliformes Fecales [UFC/100ml]	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Lunes	1850	2800	2004	2400	Lunes	1200	2540	1860	1970
Miércoles	1730	950	840	1010	Miércoles	470	360	310	640
Viernes	1998	4810	3760	4950	Viernes	1460	3950	3580	4710
Promedio	1859	2853	2201	2787	Promedio	1043	2283	1917	2440
Desviación	134	1931	1470	1998	Desviación	513	1809	1636	2075
CE [μS/cm]	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Turbiedad [NTU]	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Lunes	30.50	45.70	41.80	32.70	Lunes	3.88	2.75	1.02	3.02
Miércoles	30.04	45.70	33.62	32.85	Miércoles	2.78	5.00	1.00	2.00
Viernes	30.15	41.11	33.70	32.92	Viernes	2.95	2.97	1.92	6.96
Promedio	30.23	44.17	6.37	32.82	Promedio	3.20	3.57	1.31	3.99
Desviación	0.24	2.65	4.70	0.11	Desviación	0.59	1.24	0.53	2.62
SDT [mg/L]	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Potasio [mg K/L]	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Lunes	20.00	26.00	17.00	14.00	Lunes	0.23	0.85	0.34	0.29
Miércoles	15.00	23.00	16.00	16.00	Miércoles	0.21	0.68	0.20	0.20
Viernes	13.00	16.00	16.00	13.00	Viernes	0.18	0.22	0.18	0.17
Promedio	16.00	21.67	16.33	14.33	Promedio	0.21	0.58	0.24	0.22
Desviación	1.53	3.72	0.19	1.50	Desviación	0.03	0.33	0.09	0.06

Apéndice C. Parámetros in situ.

Lunes 23 de septiembre								
Hora	Punto 1				Punto 2			
	Q [L/s]	pH	C.E [μs/cm]	T [°C]	Q [L/s]	pH	C.E [μs/cm]	T [°C]
08:30	1.97	7.58	25.8	11.0	1.40	7.25	44.0	13.5
09:00	1.92	7.67	25.5	12.1	1.48	7.332	39.8	15.35
09:30	1.94	7.51	25.3	11.7	1.48	7.318	40.6	15.2
10:00	1.94	7.57	25.5	10.6	1.36	7.363	64.1	15.2

EFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

10:30	1.87	7.675	26.0	10.1	1.74	7.351	41.7	13.3
11:00	1.91	7.665	26.6	9.7	1.78	7.358	40.5	13.65
11:30	1.82	7.615	26.8	9.6	1.83	7.3	40.9	12.55
12:00	1.76	7.595	27.0	9.5	1.65	7.344	65.7	12.9
12:30	1.84	7.47	27.1	9.3	2.21	7.319	42.8	12.15
13:00	1.97	7.40	26.6	9.6	2.21	7.301	46.4	12.9
13:30	2.19	7.295	25.7	10.0	2.37	7.366	45.2	13.05
14:00	2.08	7.475	26.2	9.7	2.21	7.39	42.1	11.9
14:30	2.06	7.525	26.3	10.0	2.65	7.414	58.5	12.8
Promedio	1.94	7.54	26.16	10.20	1.88	7.34	47.10	13.42
Mínimo	1.76	7.30	25.25	9.30	1.36	7.25	39.80	11.90
Máximo	2.19	7.68	27.10	12.05	2.65	7.41	65.70	15.35
Miércoles 25 de septiembre								
Hora	Punto 1				Punto 2			
	Q [L/s]	pH	C.E [μs/cm]	T [°C]	Q [L/s]	pH	C.E [μs/cm]	T [°C]
08:00	1.67	7.69	29.2	10.4	3.19	7.51	54.3	12.95
08:30	1.67	7.41	28.9	8.6	2.94	7.47	43.0	13.95
09:00	1.68	7.59	28.9	10.4	3.00	7.42	42.0	13.35
09:30	1.71	7.65	27.3	10.4	2.88	7.41	52.9	15.55
10:00	1.65	7.57	27.7	10.1	2.82	7.43	42.0	12.7
10:30	1.65	7.575	28.4	9.9	2.76	7.36	41.9	13
11:00	1.65	7.635	28.9	10.1	2.53	7.36	49.8	13.6
11:30	1.57	7.55	27.9	10.6	2.48	7.37	42.5	13.3
12:00	1.63	7.615	27.9	10.3	2.76	7.4	42.6	14.85
12:30	1.61	7.57	27.6	10.6	2.53	7.4	41.3	14.6
13:00	1.68	7.595	28.0	10.1	2.82	7.38	42.8	14.4
13:30	1.63	7.62	27.8	10.5	2.76	7.38	43.2	14
14:00	1.61	7.62	28.0	10.4	2.59	7.44	42.0	14
Promedio	1.65	7.59	28.17	10.17	2.78	7.41	44.64	13.87
Mínimo	1.57	7.41	27.30	8.60	2.48	7.36	41.30	12.70
Máximo	1.71	7.69	29.15	10.60	3.19	7.51	54.30	15.55
Viernes 27 de septiembre								
Hora	Punto 1				Punto 2			
	Q [L/s]	pH	C.E [μs/cm]	T [°C]	Q [L/s]	pH	C.E [μs/cm]	T [°C]
08:30	1.67	7.66	28.0	9.3	3.73	7.37	37.5	12.3
09:00	1.78	7.585	28.3	9.3	3.87	7.34	38.5	13
09:30	1.73	7.61	27.0	10.0	3.80	7.3	37.7	14.05
10:00	1.75	7.635	27.7	10.0	3.66	7.39	37.6	13.8
10:30	1.65	7.6	27.7	10.1	3.80	7.31	38.0	14.15
11:00	1.78	7.605	28.0	10.1	3.73	7.4	38.3	14.05
11:30	1.80	7.595	27.8	10.1	3.59	7.42	38.6	14.3
12:00	1.76	7.56	27.8	10.3	3.80	7.46	38.6	13.8
12:30	1.68	7.595	27.6	10.1	3.59	7.44	38.1	13.9

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

13:00	1.74	7.62	27.9	10.0	3.45	7.39	38.7	13.25
13:30	1.64	7.62	28.1	9.9	3.32	7.37	39.0	13.2
14:00	1.69	7.56	27.7	10.2	3.19	7.4	38.2	14.8
14:30	1.75	7.59	27.0	10.8	3.73	7.38	39.5	15.1
Promedio	1.73	7.60	27.71	10.00	3.63	7.38	38.33	13.82
Mínimo	1.64	7.56	26.95	9.30	3.19	7.30	37.50	12.30
Máximo	1.80	7.66	28.25	10.75	3.87	7.46	39.50	15.10
Lunes 23 de septiembre								
Hora	Punto 3				Punto 4			
	Q [L/s]	pH	C.E [µs/cm]	T [°C]	Q [L/s]	pH	C.E [µs/cm]	T [°C]
08:30	0.28	8.39	54.0	10.5	3.11	7.16	31.9	14.3
09:00	0.27	8.07	54.5	10.3	3.11	7.19	31.3	17
09:30	0.29	8.08	48.5	10.2	3.25	7.28	31.1	15
10:00	0.29	8.11	46.0	10.2	3.32	7.19	29.5	15.65
10:30	0.28	8.76	51.5	10.0	3.83	7.26	29.6	12.85
11:00	0.27	9.05	55.0	10.0	3.18	7.25	32.2	14.15
11:30	0.26	9.03	48.5	10.0	3.46	7.22	34.1	12.6
12:00	0.28	9.08	38.0	9.8	3.05	7.23	33.4	14.85
12:30	0.29	8.99	37.5	9.9	3.32	7.24	30.1	11.8
13:00	0.25	8.72	44.5	9.9	4.15	7.12	29.8	12.3
13:30	0.25	8.72	41.0	10.0	4.23	7.17	34.4	13.4
14:00	0.25	9.04	47.5	10.0	3.83	7.29	29.8	12
14:30	0.25	8.72	46.0	10.0	4.07	7.20	37.3	13.2
Promedio	0.27	8.67	47.12	10.03	3.53	7.22	31.88	13.78
Mínimo	0.25	8.07	37.50	9.80	3.05	7.12	29.50	11.80
Máximo	0.29	9.08	55.00	10.50	4.23	7.29	37.30	17.00
Miércoles 25 de septiembre								
Hora	Punto 3				Punto 4			
	Q [L/s]	pH	C.E [µs/cm]	T [°C]	Q [L/s]	pH	C.E [µs/cm]	T [°C]
08:30	0.27	7.80	39.0	10.9	3.53	7.38	41.7	13.95
09:00	0.30	7.25	37.0	10.3	2.98	7.37	57.8	16.7
09:30	0.28	7.10	36.0	9.9	3.32	7.38	30.5	14.4
10:00	0.28	7.01	36.0	10.1	3.32	7.35	58.7	16.1
10:30	0.29	6.98	36.0	9.8	3.18	7.37	30.4	13.95
11:00	0.29	6.95	36.0	9.9	3.11	7.36	31	13.55
11:30	0.28	6.92	35.5	9.9	3.11	7.30	31.1	13.6
12:00	0.27	6.90	35.5	9.9	3.05	7.33	30.1	13.75
12:30	0.29	7.24	37.5	10.3	3.25	7.37	30.6	14.2
13:00	0.29	6.90	36.0	10.3	3.39	7.33	30.9	16.05
13:30	0.29	6.86	36.0	10.0	3.18	7.31	30.6	15
14:00	0.29	6.85	36.0	10.0	3.25	7.29	30.7	14.4
14:30	0.29	6.86	36.0	10.0	3.32	7.31	34.3	14.3
Promedio	0.28	6.88	36.35	10.07	3.23	7.34	36.03	14.61
Mínimo	0.27	6.85	35.50	9.80	2.98	7.29	30.10	13.55
Máximo	0.30	6.92	39.00	10.85	3.53	7.38	58.70	16.70

EFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Viernes 27 de septiembre								
Hora	Punto 3				Punto 4			
	Q [L/s]	pH	C.E [μs/cm]	T [°C]	Q [L/s]	pH	C.E [μs/cm]	T [°C]
08:30	0.28	7.67	39.0	10.4	3.05	7.42	29.9	12.65
09:00	0.27	7.01	38.5	10.3	3.25	7.47	30.2	13.55
09:30	0.26	6.93	37.5	9.8	3.11	7.39	29.6	14.45
10:00	0.34	6.88	36.0	10.0	2.85	7.44	29.8	14.25
10:30	0.30	6.87	36.0	9.9	3.05	7.29	29.9	14.8
11:00	0.31	6.83	35.5	9.9	2.98	7.39	30.1	14.1
11:30	0.31	6.84	36.0	10.0	3.05	7.32	29.6	13.7
12:00	0.27	6.81	35.0	9.9	3.18	7.35	30	14.4
12:30	0.28	6.83	35.0	9.9	2.91	7.36	30	14.85
13:00	0.29	6.84	36.5	9.9	2.85	7.38	30.7	13.95
13:30	0.28	6.82	35.5	10.0	2.98	7.43	30	13.3
14:00	0.28	6.83	35.0	10.3	2.98	7.31	29.7	14.85
14:30	0.27	6.82	35.5	10.2	3.18	7.32	29.9	14.15
Promedio	0.29	6.84	36.23	10.02	3.03	7.37	29.95	14.08
Mínimo	0.26	6.81	35.00	9.75	2.85	7.29	29.60	12.65
Máximo	0.34	6.88	39.00	10.40	3.25	7.47	30.70	14.85

Los valores resaltados en rojo fueron descartados, ya que fueron producidos por errores en el uso de los equipos.

Apéndice D. Resultados del cultivo de *Escherichia coli*.

Punto	Conteo 1 [UFC/100ml]	Conteo 2 [UFC/100ml]	Conteo 3 [UFC/100ml]	Promedio [UFC/100ml]	Desviación
Lunes					
P1	97	96	93	95	2
P2	480	493	418	464	40
P3	112	111	106	110	3
P4	202,5	213	210	208	5
Miércoles					
P1	30	29	31	30	1
P2	235	258	280	258	23
P3	104	107	94	102	7
P4	75	68	63	69	6
Viernes					
P1	31	33,5	26	30	4
P2	360	375	330	355	23
P3	31	31	40	34	5
P4	83	75	75	78	5

EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Apéndice E. *Parámetros analizados por con los índices ICO junto con la ecuación de sus subíndices*

Índice ICO	Parámetros	Ecuación
ICOMI	Conductividad eléctrica	$I_{C.E} = -3.26 + 1.34 \log_{10}(C.E)$
	Dureza	$I_{Dureza} = -9.09 + 4.40 \log_{10}(Dureza)$
	Alcalinidad	$I_{Alcal} = -0.25 + 0.005 \log_{10}(Alcal)$
ICOSUS	Sólido suspendidos	No presenta ecuaciones de subíndices
ICOTRO	Fósforo Total	Clasificación directa
ICOpH	pH	No presenta ecuaciones de subíndices

Fuente. (Ramírez et al., 1999), (Ramírez et al., 1997)

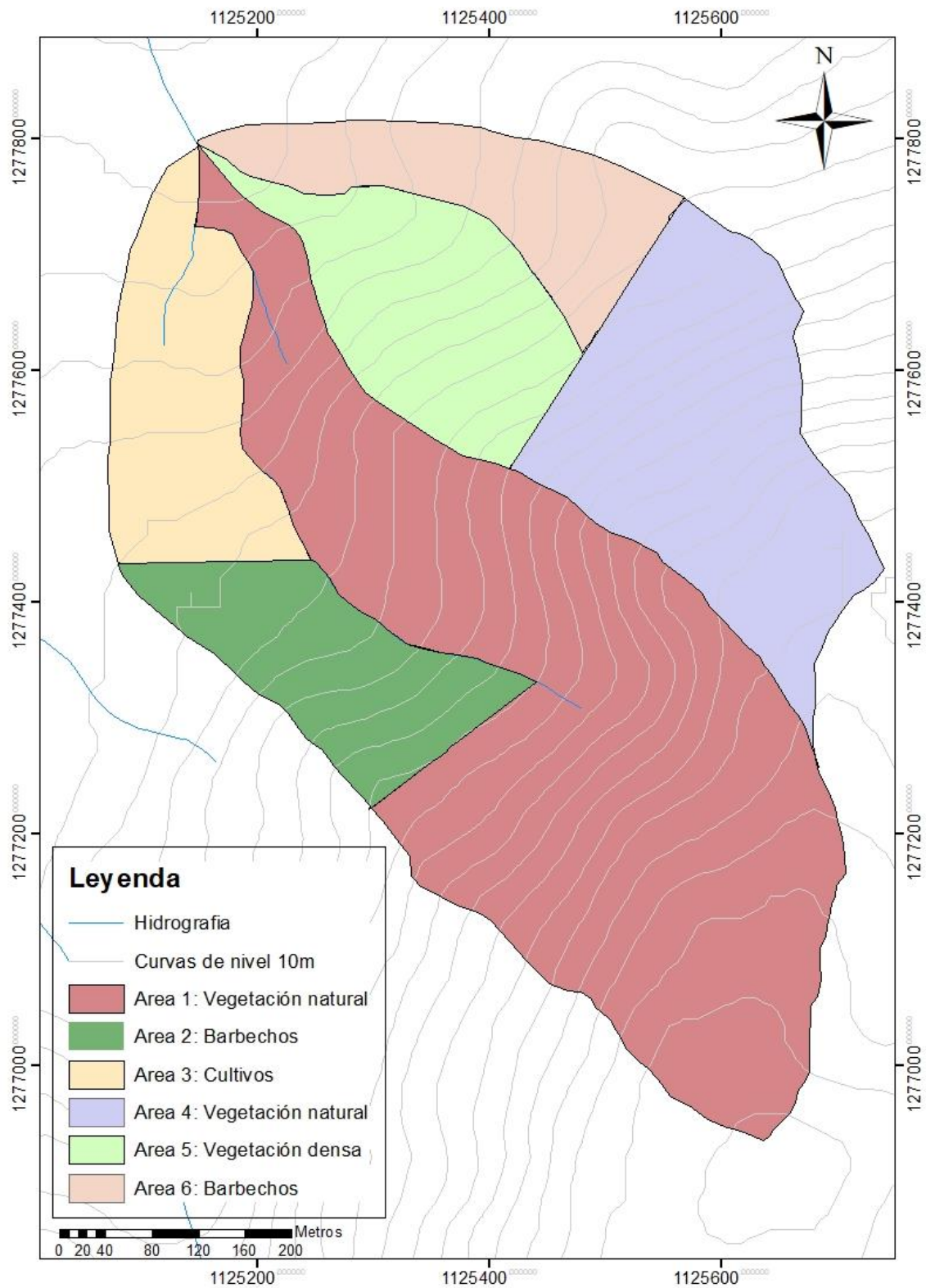
Apéndice F. *Clasificación de índices de contaminación ICO e índices de calidad ICA*

ICOs		ICOTRO	
Ninguna	0-0.2	Oligotrófico	<0.01 (g/m ³)
Baja	0.2-0.4	Mesotrófico	0.01-0.02 (g/m ³)
Media	0.4-0.6	Eutrófico	0.02-1 (g/m ³)
Alta	0.6-0.8	Hipereutrófico	> 1 (g/m ³)
Muy alta	0.8-1		

Fuente. Fernandez y Solano, 2005

Apéndice G. *Subdivisión de las unidades hidrológicas según su uso de suelo.*

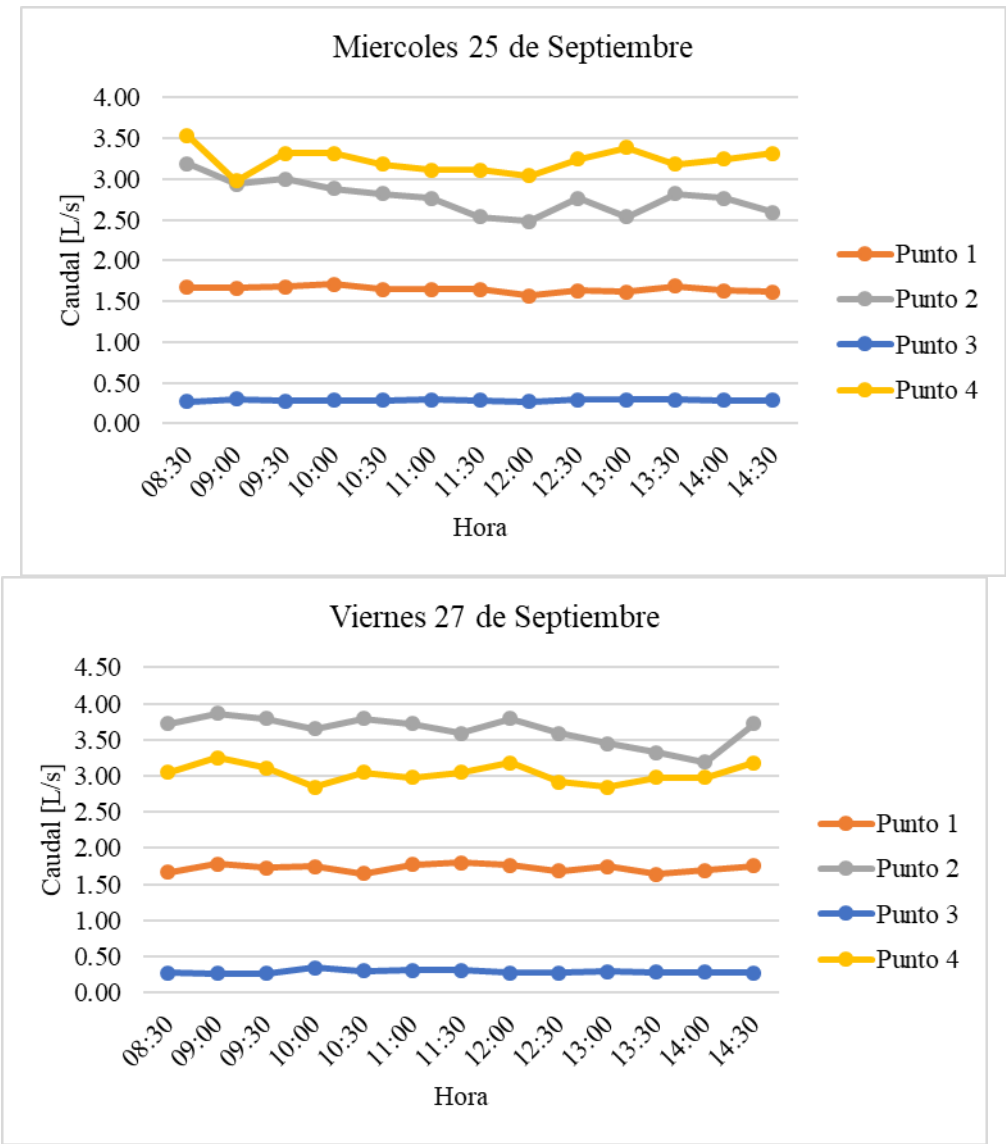
EFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA



Fuente. Elaboración propia.

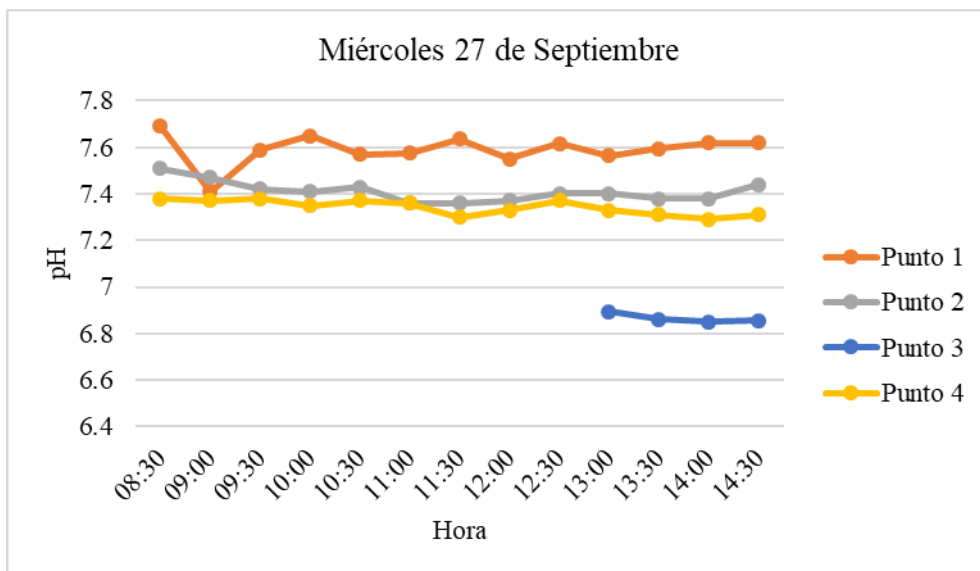
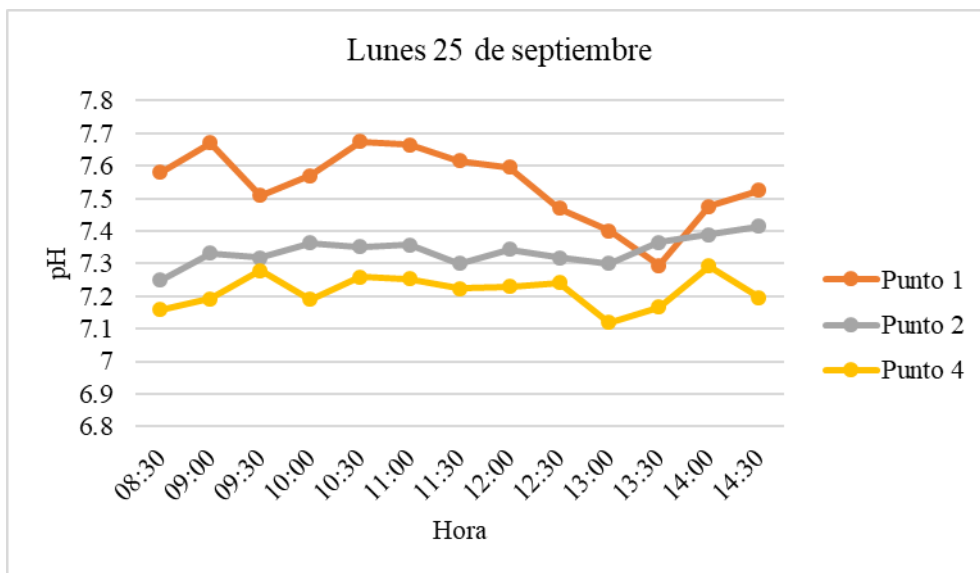
EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Apéndice H. Caudales presentados en la campaña de muestreo.

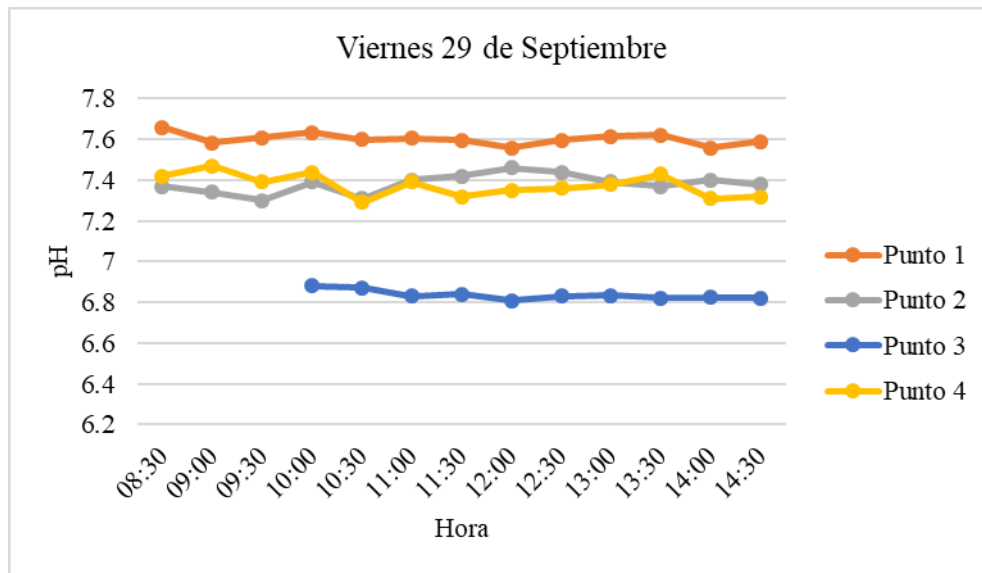


Apéndice I. pH presentados en la campaña de muestreo.

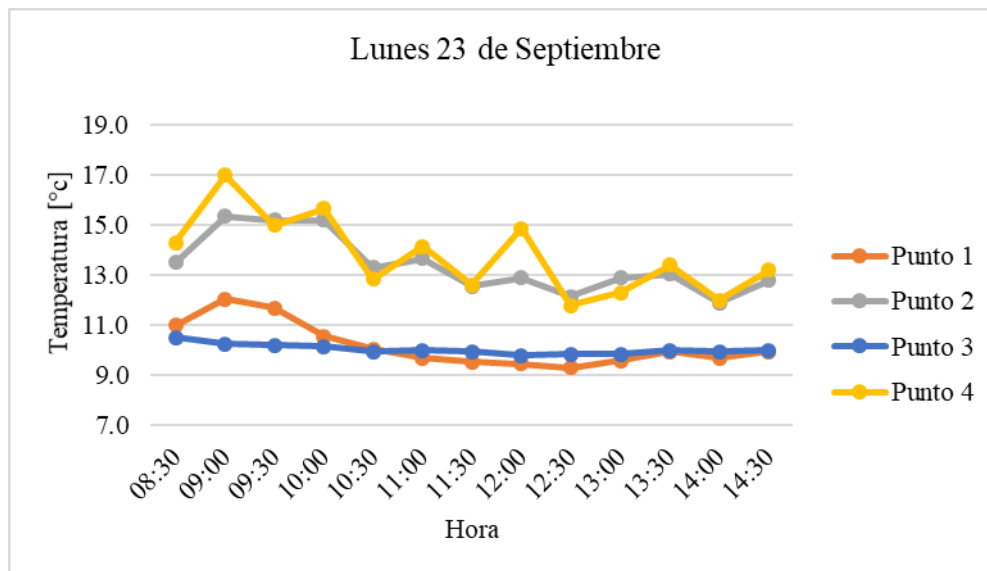
EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA



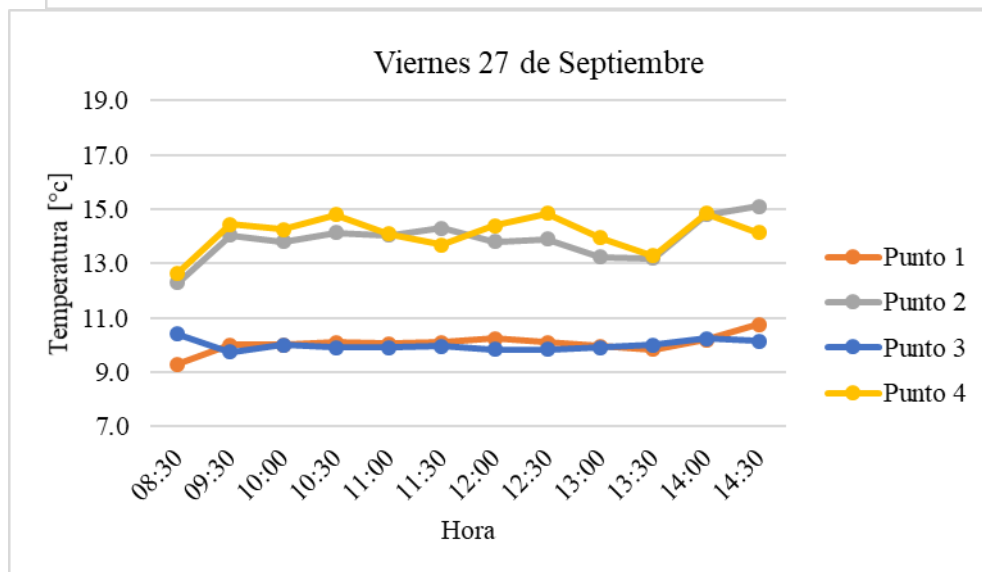
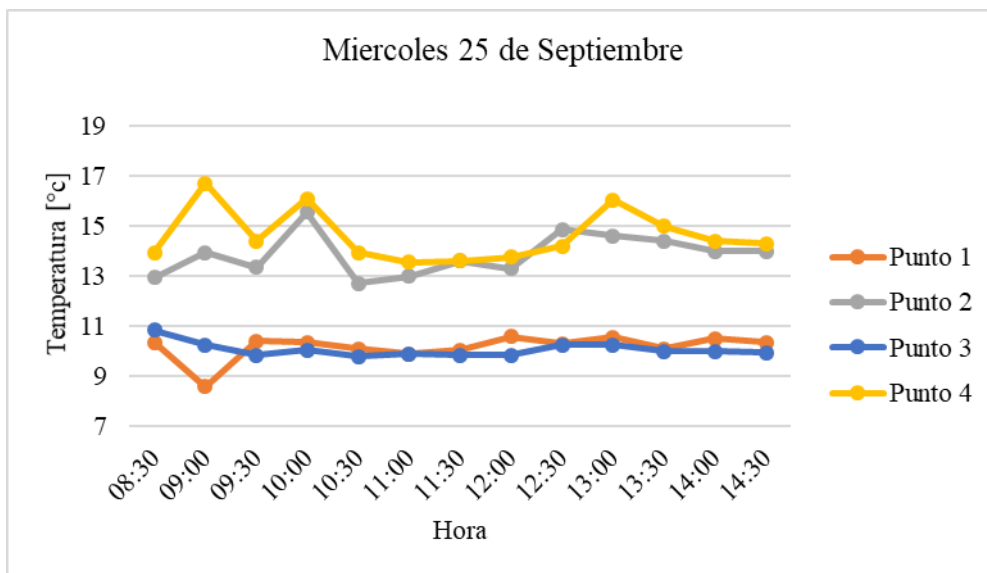
EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA



Apéndice J. Temperatura presentada en la campaña de muestreo.

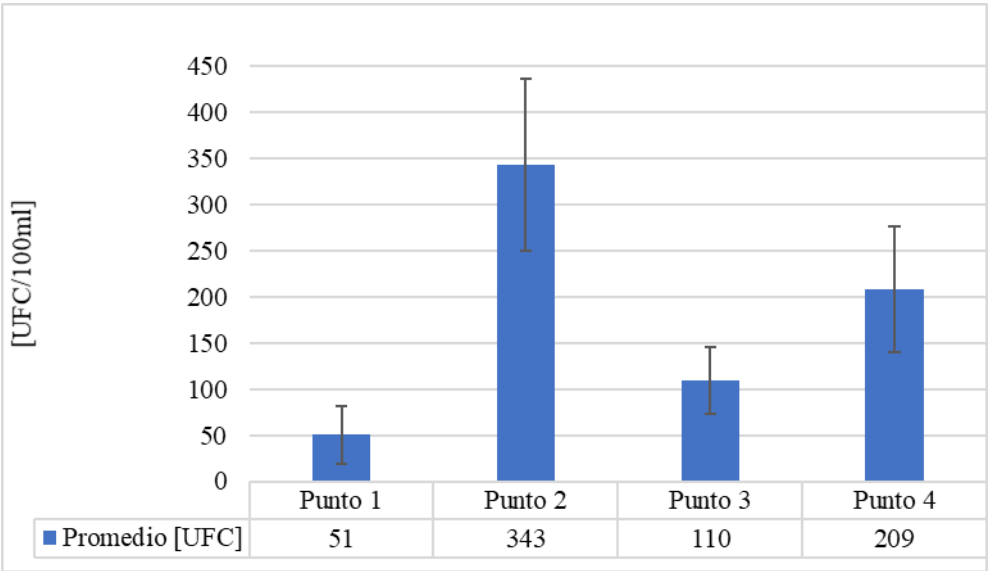


EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

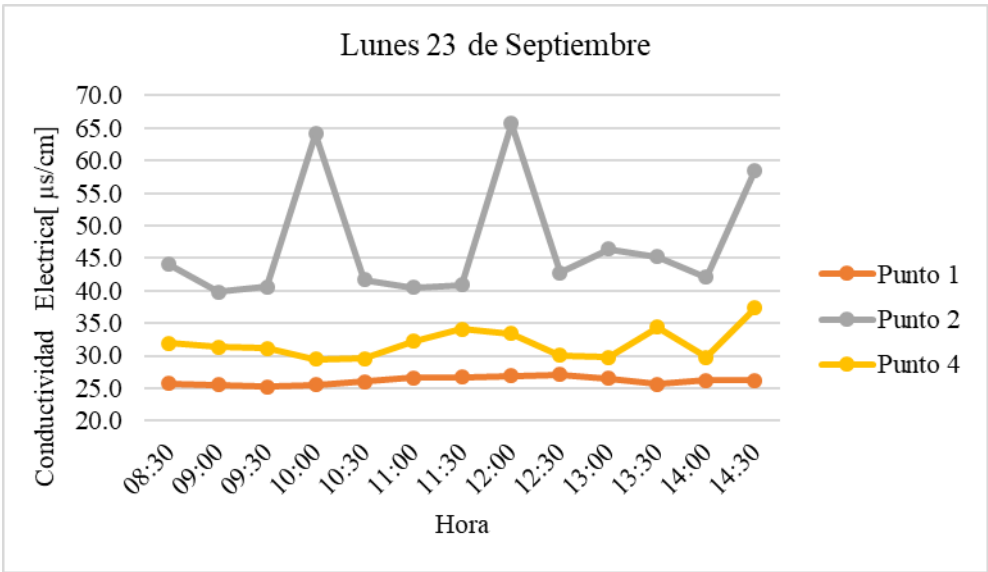


Apéndice K. *Escherichia coli* presentada en los puntos de muestreo.

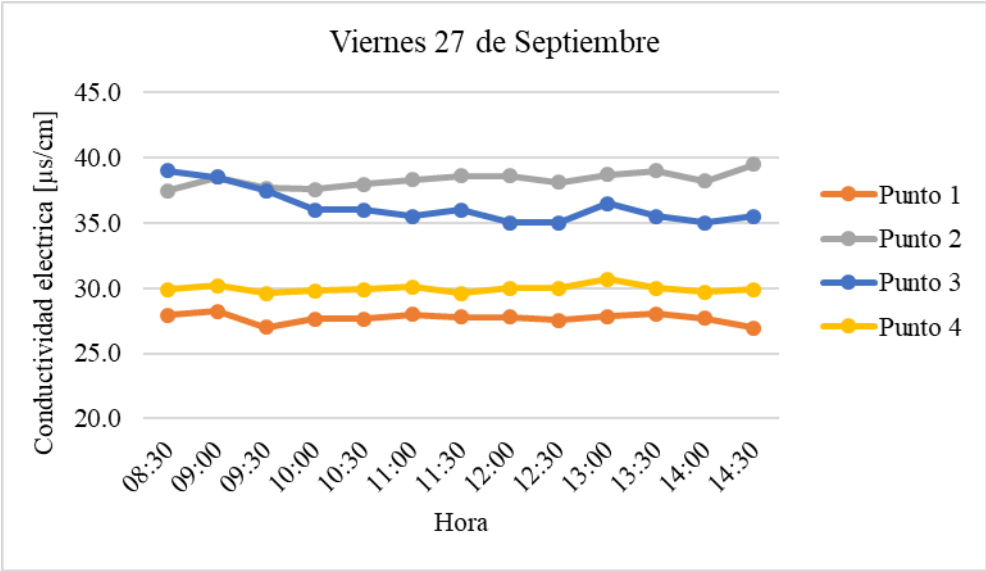
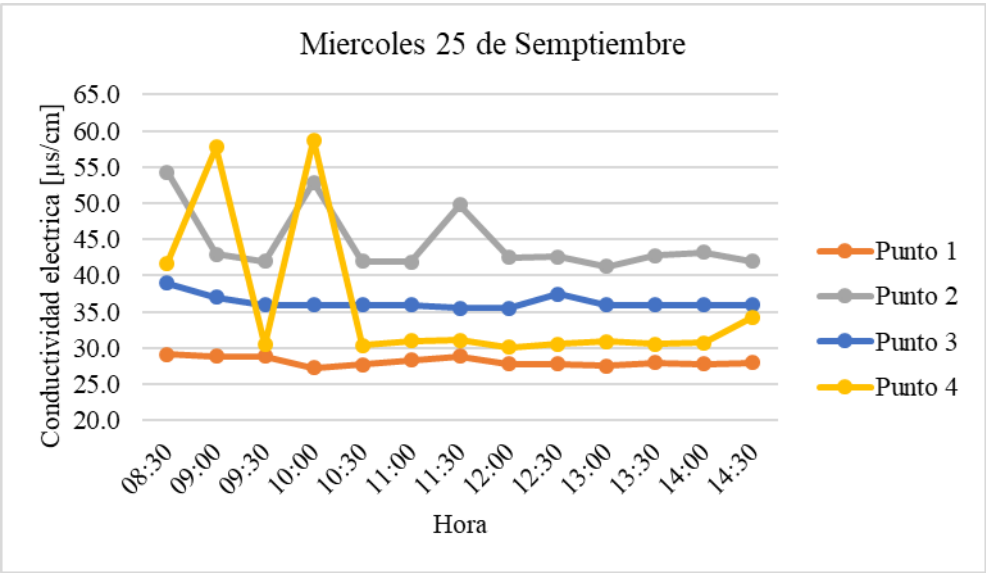
EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA



Apéndice L. Conductividad eléctrica presentada en la campaña de muestreo.



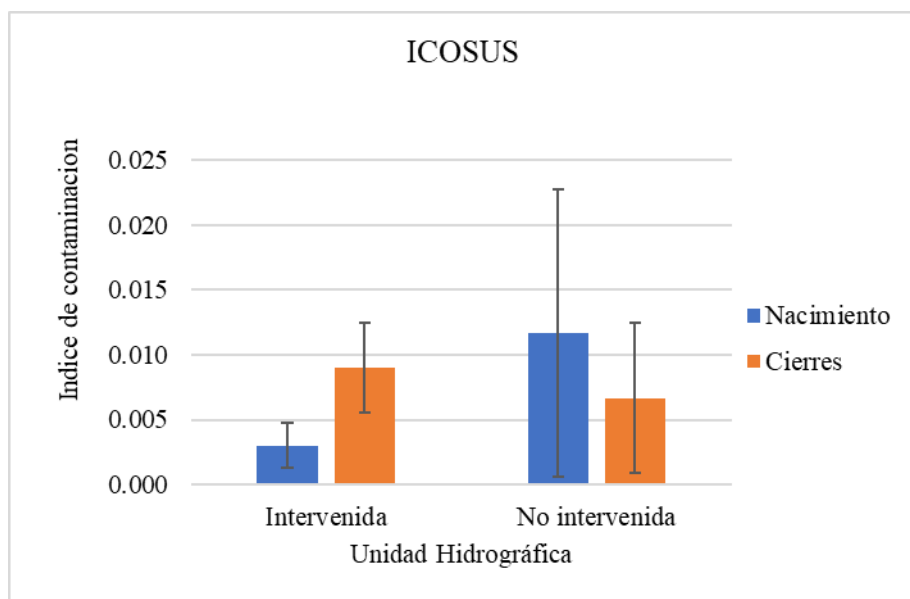
EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA



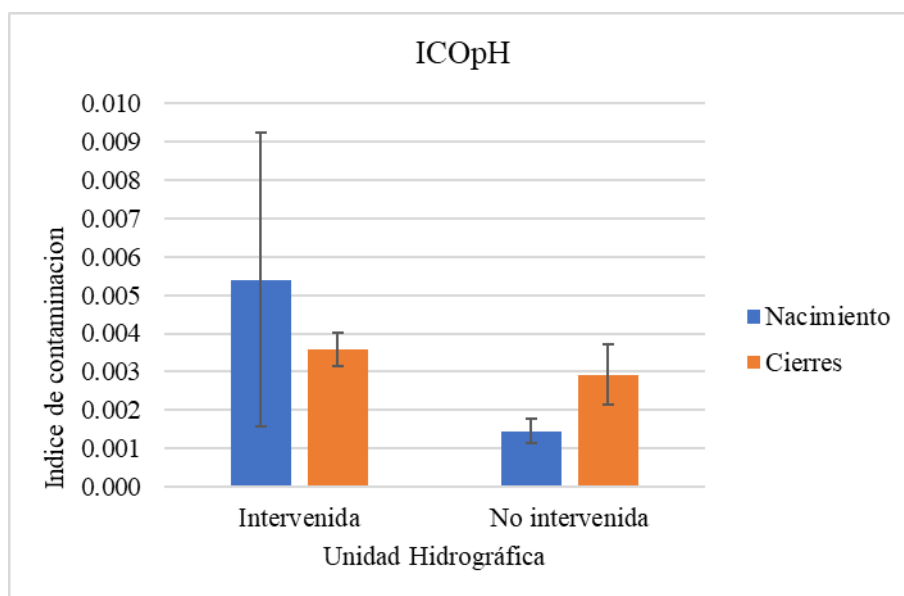
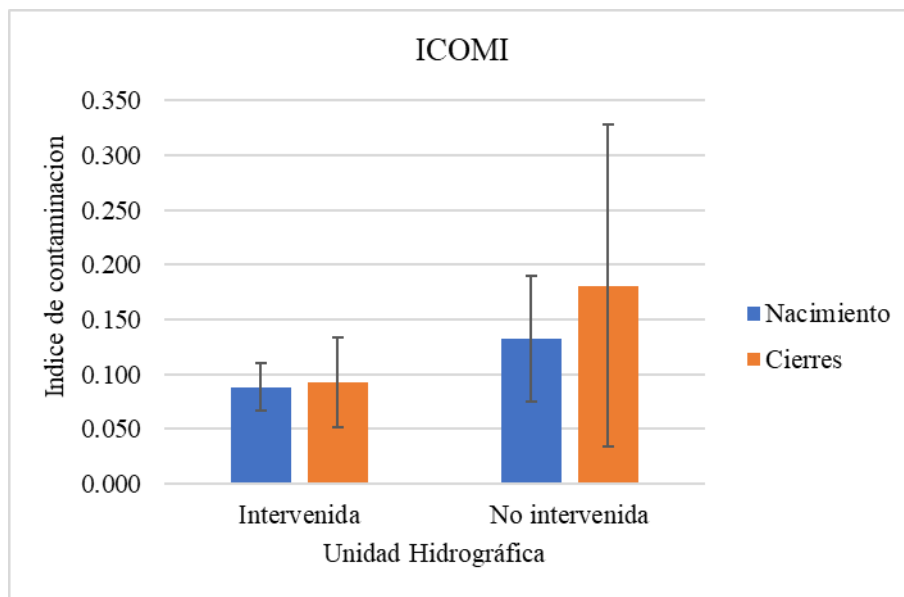
EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Apéndice M. Índices de contaminación del agua ICO.

Día	ICOMI	ICOSUS	ICOTRO	ICOpH
Punto 1				
Lunes	0.079	0.000	Eutrófico	0.001
Miércoles	0.073	0.000	Eutrófico	0.007
Viernes	0.113	0.000	Eutrófico	0.008
Punto 2				
Lunes	0.129	0.000	Eutrófico	0.003
Miércoles	0.101	0.000	Eutrófico	0.004
Viernes	0.048	0.013	Eutrófico	0.004
Punto 3				
Lunes	0.177	0.013	Eutrófico	0.001
Miércoles	0.153	0.000	Eutrófico	0.002
Viernes	0.068	0.022	Eutrófico	0.002
Punto 4				
Lunes	0.090	0.010	Eutrófico	0.002
Miércoles	0.102	0.000	Eutrófico	0.003
Viernes	0.351	0.010	Eutrófico	0.004



EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA



EFFECTO DE LA AGRICULTURA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Apéndice N. Estrategias de gestión.

Estrategias destinadas a la comunidad			
Problema	Recomendación	Efectos sobre la calidad	Plazo
Arrastre de sólidos erosionados	Realizar los surcos en contra de la pendiente o en dirección a las curvas de nivel para disminuir el arrastre de erosión hacia las fuentes hídricas y aumentar la humedad en los suelos.	Reducción de sólidos totales y nutrientes	Mediano
Aumento de nutrientes.	Evitar el uso de estiércoles mal compostados, adoptando técnicas sencillas de elaboración de abonos a partir de residuos de cosechas y estiércoles.	Disminución del nitrógeno, fósforo, potasio y sus respectivas reducciones	Largo
	Seguir las recomendaciones sobre dosis de fertilizantes plasmadas en guías de cultivo para evitar una fertilización excesiva.		Mediano
Incremento de pesticidas en el agua	Realizar una correcta dosificación al momento de la preparación siguiendo las indicaciones plasmadas en las etiquetas.	Baja el riesgo de presencia de pesticidas y químicos nocivos para la salud	Mediano
	Realizar una correcta disposición de los residuos de las fumigaciones, limpieza de equipos y empaques de agroquímicos.		Corto
Presencia de coliformes fecales y <i>Escherichia coli</i>	Evitar el pastoreo de ganado en las cercanías de las fuentes hídricas.	Eliminación de coliformes totales, fecales y <i>Escherichia coli</i> provenientes del ganado	Corto
	Ubicar bebederos para ganado a una distancia prudente de las fuentes hídricas		Medio
Estrategias destinadas a las instituciones			
Poco uso de técnicas de cultivo sostenibles.	Realizar un acercamiento con la comunidad para realizar taller, acompañamiento y capacitaciones sobre la preparación de los suelos, siembra, riego, uso apropiado de agroquímicos, cosecha y post-cosecha.	Prevención de contaminación provocada actividades agrícolas.	Largo
Falta de información de fácil acceso.	Elaborar folletos informáticos, guías y manuales que contengan los procesos de cultivo sostenible que lleven a una conservación del ecosistema.	Reducción de contaminación provocada actividades agrícolas y pecuarias.	Largo
Brecha entre la información científica y las prácticas tradicionales	Acerca a la comunidad a nuevas técnicas y conocimientos científicos, además realizar estudios detallados que ayuden a comprender el comportamiento del ecosistema.	Disminución en la incertidumbre de los efectos antrópicos sobre el páramo.	Largo