



# **UNIVERSIDAD DE CUENCA**

Facultad de Ciencias Químicas  
Carrera de Ingeniería ambiental

Caracterización del medio físico para la determinación de las áreas de  
protección hídrica del río Caimatan en el cantón Cañar.

Trabajo de titulación previo a la  
obtención del título de  
Ingeniero Ambiental.

Modalidad: Proyecto Técnico.

Autores:

Christian Omar Santander Lata.

CI: 0106626435

María Caridad Suárez Peñafiel.

CI: 0105956411

Director:

Ing. Marco Tulio Ramírez Matamoros. MSc.

CI: 0702774936

**Cuenca – Ecuador**

15/10/2019



## Resumen:

El río Caimatan abastece de agua a las comunidades de la parroquia San Antonio, las mismas que aprovechan este recurso para llevar a cabo sus actividades de riego, así como para el uso doméstico; viéndose comprometida su calidad ante la notable intervención antrópica y el cambio de uso del suelo entre la parte alta y baja de la microcuenca del río. Por lo que fue necesario realizar una evaluación de la calidad del agua mediante el método del Índice de Calidad del agua de la National Sanitation Foundation, llevado a cabo a través de monitoreos en tres puntos diferentes del río, cada punto con condiciones ambientales propias de la zona, como temperatura y altitud; las cuales repercutieron en el resultado final obtenido.

Conjuntamente con la evaluación de calidad del agua se aplicó la metodología de Segarra, (2017) para determinar las áreas de protección hídrica, la cual se partió de una evaluación del uso de suelo que se identificó áreas en las cuales se desarrollan actividades antrópicas dentro de territorios frágiles.

El resultado de la determinación de las APH hace énfasis en las áreas de mayor prioridad que se componen de una superficie equivalente al 16,65 % (947,69 ha) del total de la zona de influencia (5690.75 ha) situada en zonas de oferta, demanda y vulnerabilidad alta del recurso; distribuidas principalmente en la parte alta de la microcuenca en ecosistemas de alta importancia para el ciclo hidrológico, ya que se determinó que la calidad del recurso oscila entre buena y media.

**Palabras claves:** Áreas de protección hídrica (APH). Índice de Calidad del agua de la National Sanitation Foundation (ICA-NSF). Microcuenca. Ecosistema.



**Abstract:**

Caimatan River provides water to the communities from the San Antonio parish, which use this resource for daily activities, such as irrigation and domestic usage. The water's quality is compromised because of the high anthropic intervention and land-use change between the upstream and downstream of the river's micro-basin. Therefore, an assessment of the water's quality was necessary. By using the National Sanitation Foundation's Water Quality Index, carried out through sampling at three different points of the river, each one with different environmental conditions, such as altitude and temperature, which affected final results.

Besides the water quality assessment, Segarra is methodology from 2017, to determine water protection areas was applied. This methodology started with a soil assessment that identifies areas in which anthropic activities are being done inside fragile territory.

APH assessment results point out higher priority areas, which make up to 16,65 % (947,69 ha) of the total influence area (5690.75 ha) and are located on high resource offer, demand and vulnerability areas, distributed mainly on the high part (upstream) of the microbasin on ecosystems high importance for the hydrological cycle; results point out that water quality ranged from good to medium.

**Keywords:** Water protection areas (APH). National Sanitation Foundation's Water Quality Index (ICA-NSF). Microbasin. Ecosystem.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	2
<b>ABSTRACT</b> .....	3
<b>CAPITULO I</b> .....	16
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	16
<b>1.1 Identificación del problema y justificación</b> .....	16
<b>1.2 Objetivos</b> .....	18
<b>CAPITULO II</b> .....	19
<b>2. MARCO TEORICO</b> .....	19
<b>2.1 Marco legal</b> .....	19
<b>2.2 Conceptos generales</b> .....	26
<b>2.3 Índices de calidad de agua</b> .....	33
<b>CAPITULO III</b> .....	35
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	35
<b>3.1 Delimitación de la zona de estudio</b> .....	35
<b>3.2 Categorización del uso actual del suelo</b> .....	38
<b>3.3 Determinación de las Áreas de importancia Hídrica</b> .....	42
<b>3.4 Determinación de los puntos de muestreo</b> .....	47
<b>3.5 Determinación de la calidad del agua del río Caimatan</b> .....	49
<b>3.6 Aplicación del ICA-NSF multiplicativo</b> .....	51
<b>CAPITULO IV</b> .....	57
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	57
<b>4.1 Resultado de la delimitación del área de influencia y la generación de la microcuenca</b> .....	57
<b>4.2 Resultados de la categorización y el uso actual del suelo</b> .....	58
<b>4.3 Resultado de la determinación de las áreas de importancia hídrica</b> .....	60
<b>4.3.1 Resultado de las zonas de importancia según la oferta de agua</b> .....	61
<b>4.3.2 Resultado de las zonas de importancia según la demanda de agua</b> .....	62
<b>4.3.3 Resultado de las zonas de importancia según la vulnerabilidad del agua</b> .....	63
<b>4.3.4 Resultado de las áreas de protección hídrica</b> .....	65
<b>4.4 Resultados del muestreo</b> .....	69
<b>4.5 Resultados del cálculo del ICA-NSF</b> .....	71
<b>4.6 Resultados de los caudales del río Caimatan</b> .....	75



4.7 Relación Índice ICA-NSF y uso actual del suelo .....	76
4.8 Resultado del cumplimiento de la normativa .....	78
<b>CAPITULO V .....</b>	<b>82</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>82</b>
5.1 Conclusiones .....	82
5.2 Recomendaciones .....	83
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>91</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de la pendiente con respecto al riesgo de erosión.....	39
Tabla 2. Riesgo de pérdida de suelo según la profundidad.....	40
Tabla 3. Riesgo potencial de degradación del suelo.....	40
Tabla 4. Matriz de evaluación del uso de tierras.....	41
Tabla 5. Relevancia de las etapas del ciclo hidrológico.....	43
Tabla 6. Clasificación de las zonas según su importancia.....	44
Tabla 7. Valoración de la clasificación según el caudal.....	45
Tabla 8. Clasificación del uso del suelo con respecto a la vulnerabilidad.....	45
Tabla 9. Matriz de cruce de variables.....	47
Tabla 10. Coordenadas de los puntos de monitoreo.....	48
Tabla 11. Precipitación de los meses seleccionados para el muestreo.....	49
Tabla 12. Parámetros y métodos utilizados en el análisis del agua.....	50
Tabla 13. Pesos de cada parámetro propuesto por el ICA-NSF.....	52
Tabla 14. Clasificación del ICA-NSF.....	56
Tabla 15. Áreas de las clasificaciones de: oferta, demanda y vulnerabilidad.....	65
Tabla 16. Superficie y porcentaje de las APH en el área de estudio.....	66
Tabla 17. Resumen de los resultados de los análisis del laboratorio del primer monitoreo.....	69
Tabla 18. Resumen de los resultados de los análisis del laboratorio del segundo monitoreo.....	70
Tabla 19. Resumen de los resultados de los análisis del laboratorio del tercer monitoreo.....	70
Tabla 20. Resumen de resultados del ICA-NSF.....	71
Tabla 21. Resultados de los caudales del río Caimatan.....	75
Tabla 22. Verificación del cumplimiento de los parámetros con la normativa en el primer monitoreo.....	79
Tabla 23. Verificación del cumplimiento de los parámetros con la normativa en el segundo monitoreo.....	80
Tabla 24. Verificación del cumplimiento de los parámetros con la normativa en el tercer monitoreo.....	81
Tabla 25. Autorizaciones dentro del área de influencia.....	95
Tabla 26. Concesiones mineras dentro de la zona de estudio.....	96
Tabla 27. Matriz de confusión.....	102
Tabla 28. Resultados del ICA-NSF del primer muestreo.....	103
Tabla 29. Resultados del ICA-NSF del segundo muestreo.....	104
Tabla 30. Resultados del ICA-NSF del tercer muestreo.....	104



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Delimitación Geográfica del área de estudio. ....	35
Ilustración 2. Relieve del área de estudio. ....	37
Ilustración 3. Mapa Hidrográfico de la zona de estudio. ....	38
Ilustración 4. Flujograma de la metodología usada para la obtención del APH. ....	42
Ilustración 5. Proceso para obtener el cruce de variables. ....	46
Ilustración 6. Mapa con los puntos de monitoreo. ....	49
Ilustración 7. Mapa del área de influencia de la zona de estudio. ....	57
Ilustración 8. Categorización del uso actual del suelo. ....	59
<i>Ilustración 9. Mapa de la evaluación del uso de tierras. ....</i>	<i>60</i>
Ilustración 10. Mapa de oferta de agua. ....	61
Ilustración 11. Mapa de importancia hídrica según la demanda. ....	62
Ilustración 12. Mapa de zonas de vulnerabilidad del recurso hídrico. ....	64
Ilustración 13. Mapa de las áreas de protección hídrica. ....	66
Ilustración 14. Mapa de las áreas de mayor prioridad hídrica según los puntos de demanda y vulnerabilidad de agua. ....	67
Ilustración 15. Mapa de los ecosistemas que se encuentran dentro de las áreas de mayor prioridad hídrica. ....	68
Ilustración 16. Variación de las variables del ICA-NSF. ....	72
Ilustración 17. Variación de los Coliformes fecales obtenidos en los 3 monitoreos. ....	73
Ilustración 18. Variación de los DBO5 en las campañas. ....	73
Ilustración 19. Variación de los caudales del río Caimatan. ....	76
Ilustración 20. Correlación de Pearson en el mes de abril. ....	77
Ilustración 21. Correlación de Pearson en el mes mayo. ....	77
Ilustración 22. Correlación de Pearson en el mes de junio. ....	78
Ilustración 23. Mapa de pendiente del terreno. ....	91
Ilustración 24. Mapa de riesgo de erosión según la pendiente. ....	91
Ilustración 25. Mapa de Profundidad del terreno. ....	92
Ilustración 26. Mapa de riesgo de pérdida de suelo. ....	92
Ilustración 27. Mapa de riesgo potencial de degradación del suelo. ....	93
Ilustración 28. Mapa de meses secos. ....	93
Ilustración 29. Mapa de cobertura del suelo. ....	94
Ilustración 30. Mapa de profundidad del suelo. ....	94
Ilustración 31. Mapa de pendientes de la zona de estudio. ....	95
Ilustración 32. Mapa de concesiones mineras. ....	97
Ilustración 33. Curva de calidad de la temperatura ....	97
Ilustración 34. Curva de calidad del pH. ....	98
Ilustración 35. Curva de calidad del DBO5. ....	98
Ilustración 36. Curva de calidad del oxígeno disuelto. ....	99
Ilustración 37. Curva de calidad de la turbiedad. ....	99
Ilustración 38. Curva de calidad de los nitratos. ....	100
Ilustración 39. Curva de calidad de los fosfatos. ....	100
Ilustración 40. Curva de calidad de los sólidos totales. ....	101
Ilustración 41. Curva de calidad de los Coliformes fecales ....	101
Ilustración 42. Variación del oxígeno disuelto obtenido en los 3 monitoreos. ....	106



Ilustración 43. Variación de los pH obtenidos en los 3 monitoreos. ....	107
Ilustración 44. Variación de las temperaturas obtenidas en los 3 monitoreos.....	107
Ilustración 45. Variación de los fosfatos obtenidos en los 3 monitoreos. ....	108
Ilustración 46. Variación de los nitratos obtenidos en los 3 monitoreos.....	108
Ilustración 47. Variación de turbiedad obtenida en los 3 monitoreos.....	109
Ilustración 48. Variación de los sólidos totales obtenidas en los 3 monitoreos.....	109
Ilustración 49. Primer punto de monitoreo.....	110
Ilustración 50. Segundo punto de monitoreo.....	110
Ilustración 51. Tercer punto de monitoreo. ....	111
Ilustración 52. Resultados del laboratorio del primer muestreo. ....	112
Ilustración 53. Resultados del laboratorio del segundo muestreo. ....	113
Ilustración 54. Resultados del laboratorio del tercer muestreo.....	114



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio  
Institucional

---

María Caridad Suárez Peñafiel en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **“CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS DE PROTECCIÓN HÍDRICA DEL RÍO CAIMATAN EN EL CANTÓN CAÑAR”**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 16 de julio de 2019

María Caridad Suárez Peñafiel

C.I: 0105956411



Cláusula de Propiedad Intelectual

---

María Caridad Suárez Peñafiel, autora del trabajo de titulación **"CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS DE PROTECCIÓN HÍDRICA DEL RÍO CAIMATAN EN EL CANTÓN CAÑAR"**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 16 de julio de 2019

María Caridad Suárez Peñafiel

C.I: 0105956411



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio  
Institucional

---

Christian Omar Santander Lata en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **"CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS DE PROTECCIÓN HÍDRICA DEL RÍO CAIMATAN EN EL CANTÓN CAÑAR"**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 15 de julio de 2019

Christian Omar Santander Lata

C.I: 0106626435



Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Christian Omar Santander Lata, autor del trabajo de titulación "CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS DE PROTECCIÓN HÍDRICA DEL RÍO CAIMATAN EN EL CANTÓN CAÑAR", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 16 de julio de 2019

---

Christian Omar Santander Lata

C.I: 0106626435



## DEDICATORIA

Mientras que una disertación completa lleva el nombre único de los estudiantes, el proceso que lleva a su finalización siempre es realizado en combinación del apoyo de personas e instituciones, en este caso queremos agradecer a ELECAUSTRO S.A. ya que nada de este trabajo habría sido posible sin su orientación y especialmente al ing. Antonio Borrero gerente de ELECAUSTRO S.A. quien siempre supo escucharnos y apoyarnos durante la realización de la tesis.

Cada uno de los miembros SENAGUA que nos han brindado una amplia orientación personal y profesional; instruyéndonos mucho sobre la investigación científica y la vida en general y las comunidades de San Antonio que siempre supieron guiarnos y acompañarnos a los largos trayectos de muestreos, brindándonos apoyo todo el tiempo estarán siempre guardados en nuestro corazón.

También queremos agradecerle al Ing. Marco Ramírez, director de nuestro estudio quien ha sido nuestro maestro y amigo, enseñándonos más de lo que podría darle crédito aquí, mostrándonos, con su ejemplo. Agradecemos a todos aquellos con quienes hemos tenido el placer de trabajar durante la realización de nuestra tesis.

## **DEDICATORIAS**

El esfuerzo puesto en el presente trabajo es el reflejo de toda la gratitud que tengo por la colaboración de distintas personas a lo largo de toda mi vida, personas que sin esperar nada a cambio han compartido parte de su conocimiento, personas que a lo largo del tiempo se han convertido en buenos amigos, amigos inolvidables y especiales con los que crecí durante la vida universitaria, instituciones como ELECAUSTRO S.A y el Consejo de la cuenca del río Cañar que tendieron su mano a un estudiante que fue a golpear sus puertas y no dudaron en brindar su ayuda, a mi familia en general en la que siempre encontré un buen consejo, apoyo y sosiego en momentos difíciles, a mi compañera de vida, a mis padres y sobre todo a mi madre la persona más importante de mi vida, mi pilar principal, mi fuente de sabiduría y enseñanzas, la mujer más espectacular y dedicada a sus hijos del mundo que inculcó en mi los valores del respeto y el trabajo duro, que nada se consigue sin esfuerzo y sobretodo que todo esfuerzo tiene su recompensa y mi mayor recompensa ha sido ésta; tener a mi madre en mi vida, por todo ese apoyo no tengo más que decir que un sincero GRACIAS a todos.

Christian Omar Santander



La vida es un largo viaje individual pero irrealizable en soledad. Durante los últimos cinco años en los cuales comencé la universidad muchas personas me han brindado su apoyo esencial: familiares, amigos y colegas me han sostenido durante este tiempo.

Mi familia me dio una base sólida desde el cual comencé este viaje y luego fue una fuente de consuelo vital durante los canales profundos que hicieron que todo pareciera sin propósito. Siempre me veré eternamente agradecida con mi hermano Pedro quien me apoyó en todos los sentidos, pero sobre todo por creer en mí y siempre impulsarme a ser mejor persona, también quiero agradecerle a mi momi Magdalena y mi tía Julia quienes me apoyaron en mis momentos más difíciles y siempre me dieron su apoyo incondicional desde que yo era un niña. Parte de mis cimientos para ser quien soy hoy les debo a ellos especialmente.

Durante la universidad conocí a una persona muy importante ahora en mi vida Caio Neves quien se ha transformado en mi mejor amigo y nunca permitió que me rinda demostrándome siempre su incondicional amor.

Deseo agradecerles a mis amigos quienes han sido leales, sinceros y por más que hemos escogido caminos diferentes han estado para mí, demostrándome que soy dichosa con su amistad; Cecy, Viví, Olí, Pao, Emi, Suzy, Genarito, Christian y José.

María Caridad Suárez



## CAPITULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Identificación del problema y justificación

El agua es el requisito fundamental para la vida en nuestro planeta, todos los organismos de la Tierra están compuestos principalmente de éste, sin embargo los organismos biológicos no podrían completar los procesos fisiológicos básicos que sostiene la vida, debido a que forma parte integral del proceso biogeoquímico de la Tierra que crea y sostiene nuestro medio ambiente (Baguma, Loiskandl, 2010).

El agua y el suelo son recursos muy importantes que confieren la exclusividad mediante leyes, reglamentos y ordenanzas; las cuales establecen distintas circunstancias para el acceso de estos recursos. Los aspectos físicos, biológicos, económicos, sociales y culturales juegan un papel muy importante en la conservación y preservación de estos recursos ya que también son grandes factores que indican el estado de los recursos naturales (Jiménez Trujillo, 2007).

En la mayoría de los casos el agua se ve influenciada por diferentes actividades antrópicas generando cambios negativos al ecosistema, viéndose afectados gran parte de las provincias del Ecuador. Los ríos son esenciales para proporcionar una condición previa para la salud pública y la vida acuática (Astel et al., 2006; John et al., 2014).

A través del paso de los años las actividades antropogénicas han sido acompañadas de procesos naturales como: erosión, efectos estacionales e insumos de precipitación provocando que los ecosistemas acuáticos sufran altos niveles de cargas contaminantes en la tierra (Subramani et al., 2005; Kazi et al., 2009).

Contar con el recurso agua permite disminuir la pobreza y evitar el crecimiento de la pobreza extrema especialmente en el sector rural Andino por necesidades básicas insatisfechas, además de mejorar la salud de la población, reducir los casos de enfermedades parasitarias, gastrointestinales y fortalecer la productividad territorial. (Senplades, 2014). Alrededor del 24,2 % como promedio es el resultado de la tasa de Analfabetismo en relación con las condiciones de bajas salubridad en zonas del Páramo



Ecuatoriano, de igual manera datos como el 25.7 % de los hogares que no cuentan con un saneamiento básico y el 75,7 % de pobreza resultan preocupantes (Conesa Fdez-Vitora, 1995)

La situación geográfica y las características geomorfológicas que presenta la microcuenca del río Caimatan sirven como afluentes de aprovisionamiento de agua para el uso de las diferentes actividades antrópicas en la zona. Actualmente el río Caimatan cuenta con algunos sistemas de abastecimiento, los cuales son utilizados en distintas localidades, acarreando algunas dificultades como la agricultura en la zona, que van de la mano con la precipitación, los cultivos son de ciclo corto, perenne y pastos, los cuales ocupan un área de 28456,83 ha que representan al 68,37 % del área total de la Parroquia San Antonio (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Cañar, 2015), siendo los mismos que afectan a la erosión por la remoción y pérdida de la cobertura vegetal.

La Microcuenca del río Caimatan se compone de diferentes ecosistemas como el “Páramo” que engloba un alto porcentaje de especies endémicas adaptadas a las condiciones climáticas que rige a la zona de estudio, lo que significa que la fragilidad de su biodiversidad es muy alta por lo que es necesario caracterizar el medio físico para indicar medidas que estas zonas requerirían como una reforestación productora referente al bosque natural, vegetación arbustiva y páramo, como consecuencia de los diferentes aprovechamientos en la cultura extractiva, producción agrícola, pecuaria y forestal que se han establecido en áreas no aptas, provocando cambios de uso del suelo, el manejo y la adecuada gestión de las fuentes hídricas constituyen un enfoque de gran importancia para el aprovechamiento de éstas, sin embargo la problemática es compleja (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Cañar, 2015).

La fuente más significativa de suministro de agua en la microcuenca del río Caimatan es la precipitación, existiendo déficit en los meses de abril y septiembre. Según los datos recuperados del INAMHI en 2017 este recurso es indispensable para las actividades productivas en la provincia del Cañar, para la conservación de éste, es de gran importancia el buen manejo, preservación y cuidado de las fuentes de agua y sus alrededores (Koleff et al., 2009).



## 1.2 Objetivos

### Objetivo general

Determinar el estado actual del río Caimatan para la obtención del área de protección hídrica en la zona.

### Objetivos específicos

Delimitar la zona de estudio mediante sistemas de información geográfica.

Categorizar el uso actual del suelo.

Determinar el área de importancia hídrica y los puntos de muestreo.

Determinar la calidad del agua del río Caimatan mediante el ICA-NSF.



## CAPITULO II

### 2. MARCO TEORICO

#### 2.1 Marco legal

*Constitución de la república de Ecuador. Registro Oficial N° 449,20 de octubre de 2008*

#### **Derechos de la naturaleza**

**Art. 71.-** La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

**Art. 72.-** La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados. En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas.

**Art. 73.-** El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales. Se prohíbe la introducción de organismos y material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva el patrimonio genético nacional.

**Art. 74.-** Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir. Los



servicios ambientales no serán susceptibles de apropiación; su producción, prestación, uso y aprovechamiento serán regulados por el Estado.

-Sector estratégico: El agua

**Art. 313.-** El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia. Los sectores estratégicos, de decisión y control exclusivo del Estado, son aquellos que por su trascendencia y magnitud tienen decisiva influencia económica, social, política o ambiental, y deberán orientarse al pleno desarrollo de los derechos y al interés social. Se consideran sectores estratégicos la energía en todas sus formas, las telecomunicaciones, los recursos naturales no renovables, el transporte y la refinación de hidrocarburos, la biodiversidad y el patrimonio genético, el espectro radioeléctrico, el agua, y los demás que determine la ley. Nota: Por Resolución No. 1 de la Corte Constitucional, publicada en el Registro Oficial Suplemento 629 de 30 de Enero del 2012, se interpreta estos artículos distinguiendo la gestión de la administración, regulación y control por el Estado y determina el rol de las empresas públicas delegatarias de servicios públicos.

**Art. 318.-** El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua. La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria. El servicio público de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias. El Estado fortalecerá la gestión y funcionamiento de las iniciativas comunitarias en torno a la gestión del agua y la prestación de los servicios públicos, mediante el incentivo de alianzas entre lo público y comunitario para la prestación de servicios. El Estado, a través de la autoridad única del agua, será el responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación. Se requerirá autorización del Estado para el aprovechamiento del agua con fines productivos por parte de los sectores público, privado y de la economía popular y solidaria, de acuerdo con la ley.

**-Recurso agua**

**Art. 411.-** El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo



hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

**Art. 412.-** La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.

***Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. Registro Oficial N° 305.06 de agosto de 2014.***

**Art. 5.-** Sector estratégico. El agua constituye patrimonio nacional, sector estratégico de decisión y de control exclusivo del Estado a través de la Autoridad Unica del Agua. Su gestión se orientará al pleno ejercicio de los derechos y al interés público, en atención a su decisiva influencia social, comunitaria, cultural, política, ambiental y económica.

**Art. 10.-** Dominio hídrico público. El dominio hídrico público está constituido por los siguientes elementos naturales:

d) Las fuentes de agua, entendiéndose por tales las nacientes de los ríos y de sus afluentes, manantial o naciente natural en el que brota a la superficie el agua subterránea o aquella que se recoge en su inicio de la esorrentía.

**Art. 12.-** Protección, recuperación y conservación de fuentes. El Estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable y juntas de riego, los consumidores y usuarios, son corresponsables en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua y del manejo de páramos así como la participación en el uso y administración de las fuentes de aguas que se hallen en sus tierras, sin perjuicio de las competencias generales de la Autoridad Única del Agua de acuerdo con lo previsto en la Constitución y en esta Ley.

**Art. 14.-** Cambio de uso del suelo. El Estado regulará las actividades que puedan afectar la cantidad y calidad del agua, el equilibrio de los ecosistemas en las áreas de protección hídrica que abastecen los sistemas de agua para consumo humano y riego; con base en estudios de impacto ambiental que aseguren la mínima afectación y la restauración de los mencionados ecosistemas.



**Art. 40.-** Principios y objetivos para la gestión del riego y drenaje. El riego y drenaje es un medio para impulsar el buen vivir o sumak kawsay. La gestión del riego y drenaje se regirán por los principios de redistribución, participación, equidad y solidaridad, con responsabilidad ambiental. Los objetivos son:

- a) Ampliar la cobertura y mejorar la eficiencia de los sistemas de riego en función del cambio de la matriz productiva;
- b) Posibilitar el incremento de la productividad y la diversificación productiva;
- c) Fortalecer la gestión pública y comunitaria de riego;
- d) Impulsar la modernización y tecnificación del riego;
- e) Promover el manejo, conservación y recuperación de suelos;
- f) Favorecer la generación de empleo rural; y,
- g) Garantizar la calidad y cantidad de agua para riego.

**Art. 64.-** Conservación del agua. La naturaleza o Pacha Mama tiene derecho a la conservación de las aguas con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida. En la conservación del agua, la naturaleza tiene derecho a:

- a) La protección de sus fuentes, zonas de captación, regulación, recarga, afloramiento y cauces naturales de agua, en particular, nevados, glaciares, páramos, humedales y manglares;
- b) El mantenimiento del caudal ecológico como garantía de preservación de los ecosistemas y la biodiversidad;
- c) La preservación de la dinámica natural del ciclo integral del agua o ciclo hidrológico;
- d) La protección de las cuencas hidrográficas y los ecosistemas de toda contaminación;
- y,
- e) La restauración y recuperación de los ecosistemas por efecto de los desequilibrios producidos por la contaminación de las aguas y la erosión de los suelos.

**Art. 111.-** Protección en fuentes de agua. La Autoridad Única del Agua y la Autoridad Ambiental Nacional emitirán las regulaciones necesarias para garantizar la conservación y el equilibrio de los ecosistemas, en especial de las fuentes y zonas de recarga de agua. La Autoridad Ambiental Nacional coordinará con la Autoridad Única del Agua, el monitoreo del sistema de manejo ambiental previsto en la respectiva licencia ambiental, emitida por aquella.



*Reglamento a la ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua Registro Oficial N°483.20 de abril de 2015.*

**Art. 49.-** Funciones de las Juntas de Riego.- Corresponde a las Juntas de Riego:

c) Realizar el reparto equitativo del agua que le sea atribuida entre los miembros del sistema siguiendo las instrucciones de la Autoridad Única del Agua.

**Art. 54.-** Dominio hídrico público natural y artificial.- De conformidad con el artículo 10 de la Ley, el dominio hídrico público está constituido por los siguientes elementos naturales:

d) Las fuentes de agua, entendiéndose por tales las nacientes de los ríos y de sus afluentes manantiales o nacientes naturales en los que brotan a la superficie las aguas subterráneas o aquéllas que se recogen en su inicio de la escorrentía.

**Art. 61.-** Formas de protección del dominio hídrico público.- Constituyen formas de protección del dominio hídrico público y, singularmente, de las fuentes de agua, las servidumbres de uso público, las zonas de protección hídrica y las zonas de restricción. La Autoridad Única del Agua emitirá los criterios técnicos para la delimitación de las servidumbres de uso público, zonas de restricción y zonas de protección hídrica, ésta última en coordinación con la Autoridad Ambiental Nacional.

**Art. 68.-** Delimitación de fuentes de agua.- La Secretaría del Agua, a través de las Autoridades de Demarcación Hidrográfica, llevará a cabo un programa sistemático de delimitación de fuentes de agua a cuyos efectos existirá la apropiada partida económica en los presupuestos anuales hasta que tal programa sea completado. El importe de las tarifas que se establezcan en aplicación de lo previsto en el artículo 137 de la Ley, se vinculará al financiamiento de este Programa. El programa contendrá una previsión temporal de actuaciones que se coordinará con el contenido de los Planes de Gestión de Recursos Hídricos de Cuenca con ámbito de Demarcación Hidrográfica. A efectos de la delimitación de las fuentes de Agua, la Secretaría del Agua determinará el procedimiento correspondiente.



**Art. 69.-** Régimen jurídico de la zona delimitada como fuente de agua.- Los terrenos que se delimiten como fuente de agua se considerarán, si no lo fueran ya, de dominio hídrico público conforme a los criterios indicados en el artículo 10, literal d) de la Ley. Cuando la delimitación afecte a terrenos que en ese momento sean de propiedad privada, deberá llevarse a cabo la compensación adecuada a su titular. Todo ello si la ocupación del terreno por el privado ha sido legítima. En caso contrario, no habrá derecho a ningún tipo de compensación. La Secretaría del Agua, en coordinación con la Autoridad Ambiental Nacional, emitirán los lineamientos para la elaboración de un programa de sostenibilidad de la fuente de agua, la ausencia de cumplimiento de un programa de sostenibilidad de la fuente de agua por parte de los Gobiernos Autónomos Descentralizados será considerada como infracción administrativa. El programa incluirá también las actuaciones de sostenibilidad en relación al área de influencia de la fuente de agua.

**Art. 70.-** Régimen jurídico de las áreas de influencia de las fuentes de agua.- La resolución determinará también un área de influencia de la fuente de agua en la que se condicionarán los usos y actividades que puedan realizarse en ella.

Los propietarios de los predios en los que se encuentren fuentes de agua delimitadas en relación a las cuales se hayan determinado también áreas de influencia, así como los usuarios del agua, estarán obligados a cumplir las regulaciones técnicas que en cumplimiento del ordenamiento jurídico establezca la Agencia de Regulación y Control del Agua en coordinación con la Autoridad Ambiental Nacional para la conservación y protección del agua en la fuente.

En todo caso, la realización de las siguientes actividades que pretendan llevarse a cabo en el área de influencia estará sometidas a autorización previa de la correspondiente Autoridad de Demarcación Hidrográfica:

- a) Las alteraciones sustanciales del relieve natural del terreno;
- b) Las extracciones de áridos;
- c) Los cambios sustanciales de cultivos o el régimen de los mismos;
- d) Las construcciones de todo tipo, tengan carácter definitivo o provisional; y,
- e) Cualquier otro uso o actividad que presumiblemente pueda ser causa de degradación o deterioro del estado de las fuentes de agua.



**Art. 71.-** Definición y procedimiento para la declaración de áreas de protección hídrica.- Además de la protección para las fuentes de agua deducida de su delimitación junto con su área de influencia y el régimen jurídico consiguiente establecido en los artículos 74 y 75 de este Reglamento, de conformidad con lo previsto en el artículo 78 de la Ley, y cuando sea necesario por no ser suficientes las medidas contenidas en dichos artículos, podrán declararse áreas de protección hídrica en el caso de las fuentes de agua declaradas como de interés público por la Secretaría del Agua.

Ello sucederá para la protección, conservación y mantenimiento de las fuentes de agua que abastezcan el consumo humano o garanticen la soberanía alimentaria.

Corresponderá a la Autoridad de Demarcación Hidrográfica el establecimiento de áreas de protección hídrica que de conformidad con lo establecido en el artículo 78 de la Ley en ningún caso podrán referirse a humedales, bosques y vegetación protectores.

El procedimiento administrativo lo realizará la Autoridad de Demarcación Hidrográfica quien iniciará con una delimitación provisional del área de protección hídrica en donde se incorporarán los estudios técnicos que sobre el particular haya realizado.

La Autoridad de Demarcación Hidrográfica trasladará a la Autoridad Ambiental Nacional la delimitación provisional del área de protección hídrica y le solicitará el informe técnico previsto en el artículo 78 de la Ley.

Recibidos los informes y alegaciones, la Autoridad de Demarcación Hidrográfica los examinará y en el plazo de treinta días emitirá la resolución con la delimitación definitiva del área.

El régimen para las áreas de protección hídrica se establecerá en la propuesta de resolución y además de las medidas previstas en este Reglamento para las fuentes de agua y sus zonas de influencia. Podrá extenderse a la prohibición o limitación de los usos del suelo que se consideren incompatibles con el área de protección hídrica dado el servicio al consumo humano o a la garantía de la soberanía alimentaria. En todo caso el régimen respetará los usos espirituales de pueblos y nacionalidades.



## 2.2 Conceptos generales

### 2.2.1 Calidad de agua

La salud de los ecosistemas están en amenaza por lo que es esencial proteger los recursos de agua dulce e identificar los factores que influyen en la calidad, el agua es considerado un recurso esencial e indispensable para la vida (Simeonov et al., 2003). Los ríos son esenciales para proporcionar una condición previa para la salud pública y la vida acuática (Astel et al., 2006).

El término “Calidad de Agua” es un factor influyente de la riqueza de un país y su uso final el cual incide directamente en el estado de un ecosistema y el bienestar humano e indica el bienestar de la biodiversidad, alimentos, actividades económicas, uso de suelo, entre otros. La evaluación de la calidad del agua se basa comúnmente en una comparación de parámetros físicos, químicos y biológicos con las pautas establecidas (Kazi et al., 2009).

La calidad de agua se evalúa mediante parámetros establecidos de indicadores de la calidad y contaminación por el cual se evalúa el correcto aprovechamiento que debe tener para diferentes actividades, mediante la comparación de las concentraciones de diferentes parámetros con las respectivas normativas ambientales vigentes de cada país se obtiene el resultado del estado del recurso (Katyál, 2011).

**2.2.2 Cuerpo de agua:** Es todo río, laguna, aguas subterráneas, cause, depósito de agua, zona marina, estuarios, que sea susceptible de recibir directa o indirectamente la descarga de aguas residuales (TULAS, 2011).

**2.2.3 Agropecuario:** Se usa para designar a un tipo de actividad que se basa en la producción principalmente de alimentos a partir de cultivo y ganadería (Asamblea Nacional del Ecuador, 2016).

**2.2.4 Ecosistema:** Un ecosistemas es un sistema que está formado por un conjunto de organismos vivos y el medio que los rodea, es decir es una unidad compuesta de organismos interdependiente que comparten un mismo territorio (Palacios & Freire, 2015).



**2.2.5 Contaminantes del agua:** Se considera a la contaminación del agua a todos aquellos compuestos que causen una alteración cambiando el estado natural de las propiedades originales del agua (Katyal, 2011).

**2.2.6 Contaminación del agua en relación al suelo:** El agua es afectada por varias vías: aéreas, fluviales y principalmente por la contaminación del suelo. En las aguas subterráneas normalmente se producen infiltraciones a través del suelo, el cual hace que los análisis sean conjuntos del sistema de agua subterránea-suelo al igual que la aplicación de las alternativas de remediación o de descontaminación del área (John et al., 2014).

Las actividades humanas más frecuentes que causan contaminación del agua son:

- Aumento de población
- Masiva urbanización
- Vertido de nuevos patógenos
- Productos químicos procedentes de industrias
- Auge de especies invasoras
- Cambio climático

El suelo se considera como un recurso no renovable mediante una escala de tiempo humana por lo que es preciso conservarlo, lo cual implica adaptarlo a diversos usos como: agricultura, bosque, suelo urbano, industria, etc., e intentar generar un modelo sostenible de gestión de este recurso natural de manera ordenada y controlada. A diferencia del agua y el aire como vías de contaminación el caso del suelo tiende a ser diferente ya que los criterios pueden variar según el uso al que se destinen, las prácticas de manejo o las prioridades socioeconómicas (Astel et al., 2006)

El agua también es contaminada por sustancias químicas que llegan procedentes de actividades agrícolas como son los fertilizantes químicos, plaguicidas y herbicidas cuando los residuos son arrastrados por las lluvias a las fuentes de agua pueden envenenar las especies que viven en el agua, los cuales pueden llegar a afectar a los humanos (Koleff et al., 2009).



### ***2.2.7 Contaminación del agua en relación a los ecosistemas***

Se debe tener en cuenta que los servicios ambientales prestados son “Todas las aportaciones directas o indirectas de los ecosistemas para el bienestar humano” (John et al., 2014), los servicios ambientales pueden clasificarse en:

- Servicios de Aprovisionamiento: Son todas aquellas actividades económicas vinculadas a los bienes proporcionados por el ecosistema.
- Servicios de Regulación: Son los beneficios indirectos que son proporcionados por el medio ambiente.
- Servicios Culturales: Son inmateriales en los ecosistemas y son el producto de experiencias en el entorno natural.
- Servicios de apoyo: Sirven de ayuda o suministro de las otras categorías.

La comprensión de la relación entre actividades antropogénicas y el estado hídrico en un cuerpo de agua es indispensable para idear medidas económicas para lograr un buen estado ecológico, en especial para proponer acciones de restauración, considerando todas las perturbaciones o presiones ambientales y la respuesta ecológica de los cuerpos de agua (Grizzetti et al., 2016).

Las presiones afectan directamente a los ecosistemas acuáticos resumiendo en alteraciones de la cantidad, calidad del agua, cambios en el hábitat físico y sus componentes biológicos.

Las presiones afectan a la biodiversidad además de incluir al estado del ecosistema acuático, presentando una alteración en los servicios de los ecosistemas y su valor económico, la sobre explotación de los servicios ecosistémicos puede convertirse en una presión de un ecosistema, por este motivo es necesario tener en cuenta la resiliencia del sistema e incluir procesos de sostenibilidad en cualquier actividad antropogénica (Teichert et al., 2016).

El agua brinda también servicios ambientales al igual que los ecosistemas, ya que es un elemento y recurso indispensable dentro del mismo, siendo éste un recurso que se encuentra sujeto a limitaciones específicamente hablando de su cantidad como agua dulce, ya que según Jha, Bhatia, Singh, & Ojha (2005), tanto el recurso agua como el ecosistema pueden ser afectados fácilmente, resultando en una tarea muy complicada y



costosa para su restauración y tratamiento dependiendo del grado de alteración que hayan ocurrido.

**2.2.8 Actividad antrópica:** Se define como cualquier acción o intervención realizada por el ser humano sobre el planeta, por ejemplo: la deforestación, pesca, agricultura, la mayoría de emisiones de gases de carbono a la atmósfera de origen vehicular, industrial entre otros (Buytaert, Iñiguez & Bièvre, 2007).

**2.2.9 Climatología:** El relieve de la zona juega un papel fundamental en la identificación de los tipos de clima existentes en la zona; además de la formación, desplazamiento y aislamiento de las masas de aire, alturas de 4200 m s.n.m. se producen masas de aire frío, que cambian el régimen de precipitaciones en la zona. (Baquero, Sierra, Ordoñez, Tipán, Espinosa, Rivera, & Soria 2004).

La influencia del relieve con elementos climáticos radica en el aumento de la altitud, ya que si esto ocurre baja la presión atmosférica, se incrementa la radiación solar, se reduce la temperatura del aire, cambia la trayectoria de los vientos, frente a estas alteraciones el aire es forzado a elevarse, produciéndose una expansión de carácter adiabático que provoca su enfriamiento, la condensación del vapor de agua, la formación de gotas y por defecto la precipitación (Cuadrat, 1995).

Todos los factores anteriormente mencionados además de ser características que definen el relieve, también condicionan el clima, (Barros López & Troncoso Salgado 2010) determinan en su estudio climatológico que “Por cada 100 m s.n.m. la temperatura disminuye  $6,4^{\circ} C$ ” conociéndose a esto como gradiente térmico, es decir que ratifica el promedio de  $4 - 20^{\circ} C$  que proponen los datos obtenidos de INAMHI (2017).

**2.2.10 Caracterización física del área de influencia:** Establece el riesgo de los territorios en cuanto a la conservación de las microcuencas hidrográficas y evita la degradación del suelo (Difrieri et al., 2011).

**2.2.11 Clasificación del riesgo potencial de degradación del suelo:** Método con base al propuesto a la Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura, recopilado por SENAGUA (2017) y enfocado hacia la protección y conservación de las fuentes de agua y su área de influencia, en la cual se tiene en cuenta dos variables principales: la pendiente y profundidad de suelo.



**2.2.12 Pendiente:** Aspecto propio del relieve, a medida que la pendiente es mayor los relieves son más profundos provocando que el agua tienda a descender hacia las zonas más bajas, por el contrario en las pendientes más suaves, el agua de la precipitación tiende a permanecer durante mayor tiempo en contacto con el suelo, a través de la porosidad del terreno y de las fisuras de los materiales superficiales se produce con mayor facilidad la infiltración (Difrieri et al., 2011).

**2.2.13 Profundidad del suelo:** La profundidad del suelo se refiere a la profundidad efectiva del suelo de donde las raíces de las plantas pueden penetrar con facilidad y se puede dar tratamiento de conservación (Soldano, 1947).

**2.2.14 Uso de suelo:** Se entiende como uso del suelo al destino asignado a los predios en relación a las actividades a ser desarrolladas en ellos (SENAGUA, 2017).

Las diversas formas de uso del suelo alteran en mayor o menor grados las fases del ciclo hidrológico, lo que se traduce en una reducción del recurso en cuanto a la calidad, cantidad e intensidad (Segarra, 2017).

**2.2.15 Bosque:** Comunidad vegetal de por lo menos una hectárea con árboles de 5m de altura y con un mínimo de 30 % de capa aérea vegetal (Difrieri et al., 2011).

**2.2.16 Bosque nativo:** Comunidad vegetal que se caracteriza por la dominancia de árboles de diferentes especies nativas, edades y portes variados (Ouyang, 2005).

**2.2.17 Plantación forestal:** Masa arbórea establecidas antrópicamente con una o más especies forestales (Difrieri et al., 2011).

**2.2.18 Vegetación Arbustiva y herbácea:** Áreas cubiertas por arbustos y vegetación herbácea producto de un proceso biológico natural, que no incluye a áreas agropecuarias (Soldano, 1947).

**2.2.19 Vegetación arbustiva:** Áreas con un componente sustancial de especies leñosas nativas no arbóreas (Ouyang, 2005).



**2.2.20 Páramo:** Vegetación tropical alto andino caracterizado por especies dominantes no arbóreas que incluyen fragmentos de bosque nativo propio de la zona (Gamarra, 2018).

**2.2.21 Vegetación herbácea:** Áreas constituidas por especies herbáceas nativas con un crecimiento espontáneo, que no recibe cuidados especiales, utilizados con fines de pastoreo esporádico, vida silvestre o protección (Gamarra, 2018).

**2.2.22 Tierra agropecuaria:** Áreas bajo cultivo agrícola y pastos plantados.

**2.2.23 Cultivo anual:** Comprende aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas, cuyo ciclo vegetativo es estacional, pudiendo ser cosechados una o varias veces al año (Gamarra, 2018).

**2.2.24 Cultivo semipermanente:** Comprende tierras dedicadas a cultivos agrícolas, cuyo ciclo vegetativo dura entre uno y tres años (Segarra, 2017)

**2.2.25 Cultivo permanente:** Son tierras cuyo ciclo vegetativo es mayor a tres años, y ofrece durante este periodo varias cosechas (Gamarra, 2018).

**2.2.26 Pastizal:** Vegetación herbácea dominada por especies de gramíneas y leguminosas introducidas, usadas con fines pecuarios, que para su establecimiento y conservación requiere labores de cultivo y manejo (Segarra, 2017).

**2.2.27 Mosaico:** Son agrupaciones de especies cultivadas que se encuentran mezcladas entre sí y que no pueden ser individualizados, puede ser asociadas con vegetación natural (Segarra, 2017).

**2.2.28 Zona antrópica:** Asentamiento humano y la infraestructura.

**2.2.29 Otras tierras:** Áreas con poca o ninguna vegetación, afloramiento rocoso, glaciares y otras clases no incluidas en otras categorías (Segarra, 2017).

**2.2.30 Áreas de protección hídrica:** Se denominan “Áreas de protección hídrica” a los territorios donde existan fuentes de agua declarados como de interés público para su



mantenimiento, conservación y protección que abastezcan el consumo humano o garanticen la soberanía alimentaria (SENAGUA, 2017).

**2.2.31 Zonas de importancia hídrica según la oferta de agua:** Se define como la disponibilidad en cuanto a cantidad y calidad del recurso hídrico, la cual se sustenta sobre la base de las interrelaciones de algunos componentes ambientales que permiten que se lleven a cabo las diversas fases del ciclo hidrológico, representando unidades espaciales de acuerdo al nivel de la oferta de agua (Segarra, 2017).

**2.2.32 Meses secos:** Variable de alta importancia para la identificación de la oferta de agua, identifica zonas en las que existe mayor cantidad de agua. La obtención de estos datos da a conocer los meses de sequía en la zona de estudio y la excedencia hídrica a lo largo del año (Segarra, 2017).

**2.2.33 Cobertura vegetal del suelo:** El rol del ciclo hidrológico considera de gran importancia la cobertura vegetal ya que el manejo incorrecto del suelo puede afectar directamente y significativamente a la cantidad y calidad del agua disponible en una cuenca. La hojarasca generada por la vegetación ayuda al almacenamiento del agua y a disminuir el flujo de agua que se escurre en el suelo y subsuelo (González, 2004)

**2.2.34 Zonas de importancia hídrica según la demanda de agua:** Es la cantidad de agua que se extrae de una microcuenca, usas para el consumo humano, riego y otros usos (Segarra, 2017).

**2.2.35 Usos del agua:** Se le atribuyen actividades como: riego, consumo humano, abrevadero, domestico, piscícola, en la cuales se está ocupando dicho recurso.

**2.2.36 Zonas de vulnerabilidad del recurso hídrico:** Se define como la alteración de alguna de las fases del ciclo hidrológico al cambiar la cobertura natural por otros usos antrópicos (Segarra, 2017).

**2.2.37 Zona de alta vulnerabilidad:** Se considera de alta vulnerabilidad cuando el uso del suelo no tiene cobertura vegetal o artificial, cuenta con presencia de cultivos anuales, infraestructura, pastizales y con presencia de minerías (Segarra, 2017).



**2.2.38 Zona de media vulnerabilidad:** Son aquellas en las cuales el uso de suelo es utilizado por poblaciones, no cuentan con cobertura vegetal o artificial y minera, tienen la presencia de cultivos anuales, infraestructura, pastizales. (Segarra, 2017).

**2.2.39 Zona de baja vulnerabilidad:** Son aquellas en las cuales el uso de suelo es mayoritariamente cultivos semipermanentes, permanentes, mosaicos agropecuarios y plantaciones forestales (Segarra, 2017).

### **2.3 Índices de calidad de agua**

El índice de calidad de agua (ICA) realiza un análisis general de la calidad de agua a diferentes niveles, así permite identificar la calidad de agua de cuerpos superficiales o subterráneos en un tiempo determinado, incorporando datos de parámetros físicos, químicos y biológicos mediante una ecuación matemática evaluando así el estado del cuerpo de agua obteniendo un valor numérico (Pesceand & Wunderlin, 2000;).

Actualmente existen varios ICA, pero en este caso se utilizó el índice de calidad de agua propuesto por Brown en 1970 apoyados por National Sanitation Foundation. Establecieron el Índice de Calidad de Agua de la NSF conocida por las siglas (ICA-NSF). Siendo este el índice más empleado en la valoración de la calidad de las aguas superficiales a nivel mundial (Heye et al., 2008)

El ICA-NSF utiliza variables en los aspectos físicos-químicos los cuales son: fosfatos, nitratos, turbiedad, demanda bioquímica de oxígeno, pH, sólidos totales, temperatura, turbiedad y en el microbiológico son los Coliformes fecales. Mediante el empleo de una ecuación multiplicativa en la que intervienen todos estos parámetros físicos, químicos y biológicos, obteniendo como resultado un dato el cual debe estar dentro de los rangos de calidad de agua establecidos entre 0 y 100 indicando ser: muy buena, buena, media, mala y muy mala (Torres et al., 2009).

#### **2.3.1 Parámetros físicos**

- **Temperatura:** Es una magnitud física que indica la intensidad de calor o frío de un cuerpo. Las variaciones de temperatura generan cambios de la temperatura del ambiente (Sierra-Ramírez, 2011).



- **Turbiedad:** Este parámetro indica la medida del grado de transparencia que pierde un líquido incoloro debido a la presencia de partículas en suspensión que minimizan el paso de la luz reduciendo la generación de oxígeno (Sierra, 2011). La turbiedad es medida por turbidímetros y sus unidades son: Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU).

### 2.3.2 Parámetros químicos

- **Potencial de hidrógeno:** Mediante la cantidad de iones liberados de hidrógeno indica condiciones de acidez o basicidad de una sustancia, este parámetro puede ser determinado mediante un instrumento electrónico llamado pHmetro (Hernández, 2016).
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días:** Este parámetro mide la cantidad de dióxigeno consumido al degradar la materia orgánica de un cuerpo líquido, es muy utilizado para determinar la cantidad de materia orgánica en una muestra de agua. Para el análisis en el laboratorio se incuba durante cinco días posteriormente se mide el consumo de oxígeno de los microorganismos y son expresados en mg/l. (Sierra-Ramírez, 2011).
- **Nitratos:** Es considerada la forma más oxidada del nitrógeno en la cual se encuentran sustancias orgánicas nitrogenadas en su descomposición.
- **Fosfato total:** Este parámetro determina el fosfato inorgánico y el orgánico mediante la espectrofotometría (Fernández, 2012).
- **Sólidos totales:** Es todo aquel material resultante después de la evaporación del agua A 105°C, siendo así la suma de los sólidos suspendidos y sólidos disueltos. (Sierra, 2011).
- **Oxígeno Disuelto:** Es considerado como la cantidad de oxígeno en el agua, siendo para el desarrollo y reproducción de los organismos generando un equilibrio en el ecosistema acuático (Mihelcic & Zimmerman, 2011).

### 2.3.3 Parámetros microbiológicos

- **Coliformes fecales:** Son un conjunto de bacterias que suelen encontrarse en el tracto digestivo de animales, humanos y se caracterizan por ser bacilos gram-negativos no esporulados siendo indicadores de la posible contaminación con material fecal (Vargas de Mayo, 1983).

### CAPÍTULO III

## 3. METODOLOGÍA

### 3.1 Delimitación de la zona de estudio

La zona de estudio se encuentra dentro de la parroquia San Antonio perteneciente a la provincia de Cañar, siendo esta parroquia la más extensa en territorio del cantón. Se estableció el río Caimatan para el estudio, el cual desemboca en el Pacífico y sus aguas circulan en dirección sur-norte recorriendo una extensión aproximada de 12 km. Se encuentra a una altura entre 1400 - 3686 m s.n.m. con una temperatura media anual que oscila entre 4 - 20 grados Celsius.

La parroquia San Antonio limita al norte con el río Cañar y la parroquia Ducur, al sur con la cordillera del Cajas, al este con el río Corazón y la parroquia Gualleturo y al oeste con el río Patúl y la Cordillera de Sanahuín como se puede observar en la ilustración 1. (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de San Antonio., 2015).

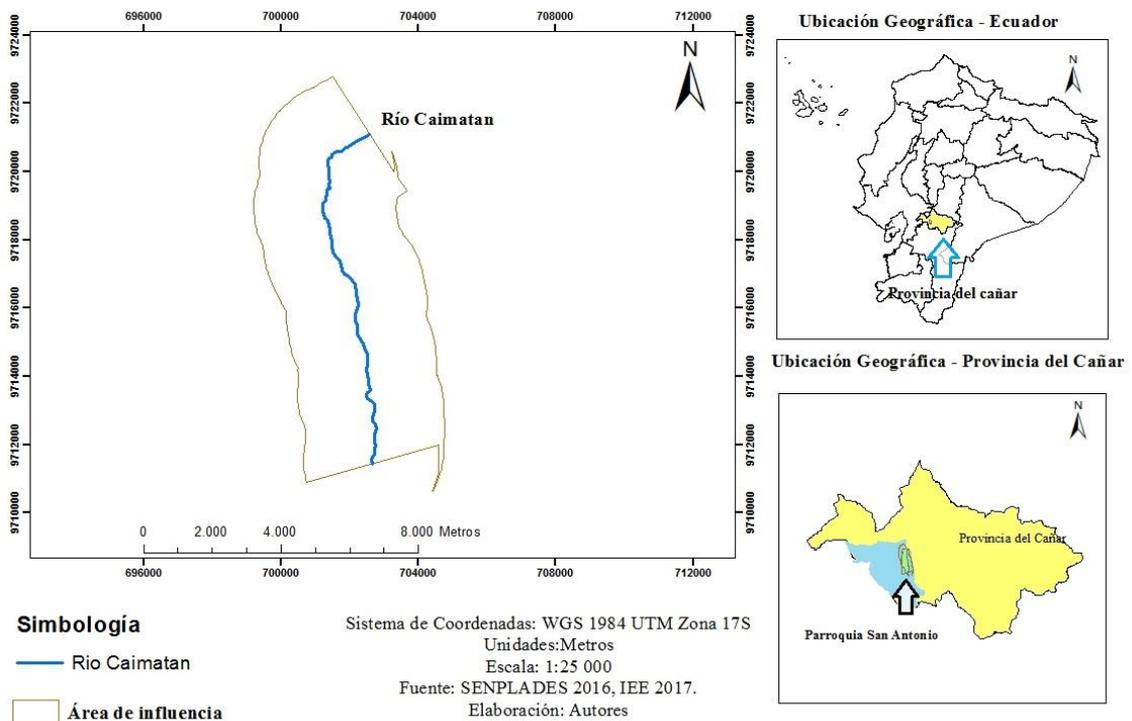


Ilustración 1. Delimitación Geográfica del área de estudio.



Según datos obtenidos de INEC en 2010; la población en San Antonio fue de 1974 personas, entre estas constan 950 mujeres y 1024 hombres, divididos en 11 comunidades distribuidas dentro de la Parroquia.

### ***3.1.1 Delimitación del área de influencia***

Al obtener la zona de estudio, se determinó el área de influencia por lo que se requirió como información básica el Modelo Digital del Terreno (MDT), se utilizó el software ArcGIS versión 10.5 y se creó la microcuenca correspondiente al río Caimatan, mediante la metodología para delimitación y codificación de unidades hidrográficas basadas en la delimitación semiautomática propuesta por SENAGUA, 2017.

### ***3.1.2 Climatología***

Mediante la clasificación de los climas que propone Pourrut en 1995, en las 4 regiones del Ecuador, se estableció los tipos de clima de la Región Andina y costera en la zona de estudio siendo los siguientes:

Clima ecuatorial de alta montaña.

Clima ecuatorial mesotérmico semi-húmedo.

Clima tropical megatérmico húmedo.

Clima tropical megatérmico semi-húmedo

Como se puede observar en la ilustración 2, el relieve en la zona de estudio se encuentra con una gran diferencia de altura, desde que nace el río a 3686 m s.n.m y la zona de aguas abajo donde termina el río a 1400 m s.n.m. Dependiendo de la altitud se desarrollan ciertas características sobre el territorio (Ezcurra & Gavini, 2019).

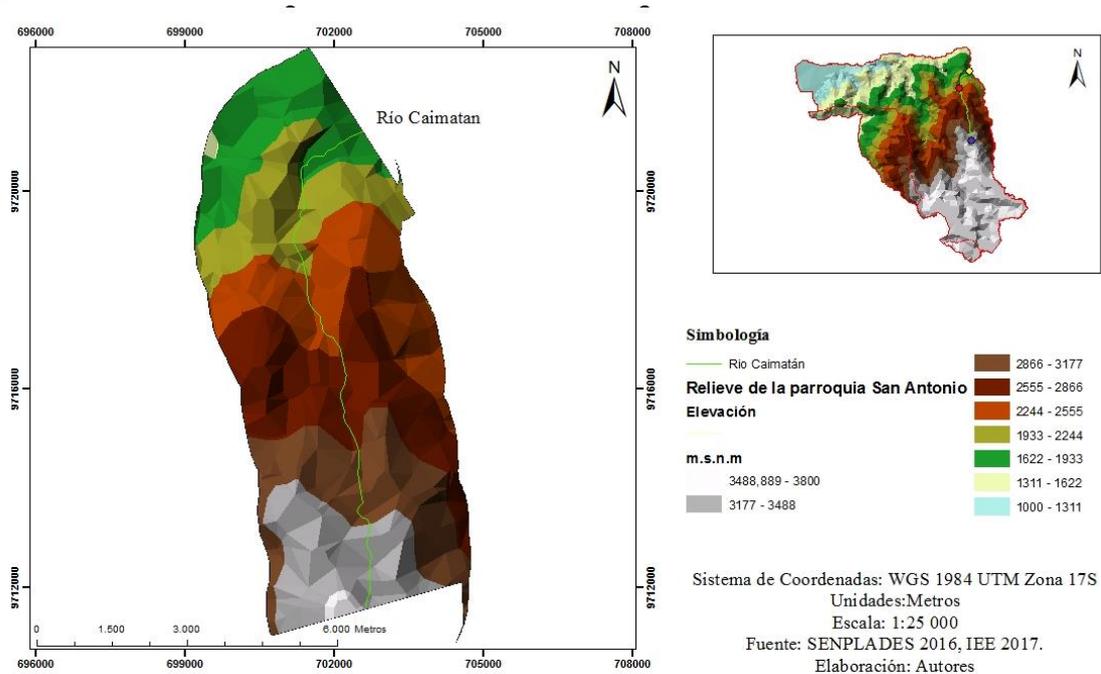


Ilustración 2. Relieve del área de estudio.

Los bosques que destacan desde los 300 hasta los 1300 m s.n.m. se encuentran al pie de montaña de la costa, que sobresalen por la precipitación que se da por la condensación de la niebla (Hofstede & Llambí, 2019). Desde los 1800 hasta los 3000 metros de altitud se evidencia bosques de neblina, los cuales se caracterizan por la presencia de un estrato arbóreo entre 25 - 30 metros de altura, a su vez están cubiertos por musgos, la pendiente interviene en el desarrollo de algunos bosques ya que en pendientes muy pronunciadas o suelos pedregosos se dificulta el crecimiento y desarrollo de éstos; sin embargo existen características que permiten su desarrollo por ejemplo: el ceibo o el guayacán que tiene copas anchas y tronco abombado pero con un estrato arbóreo menos denso que los antes mencionados (Ezcurra & Gavini, 2019).

A medida que la altitud supera los 3500 m s.n.m. se encuentra el páramo herbáceo y el páramo seco a los 4200 m s.n.m. con formas de vida adaptadas a sus condiciones. En la zona alta varias especies son peculiares siendo en su gran mayoría plantas vasculares; entre los géneros que más prevalecen en esta zona se puede citar a *Polylepis* y *Valeriana*; entre esas tenemos a las siguientes especies *Polylepis incana*, *Polylepis reticulata*, *Valeriana secunda* y *Valeriana cernua* (ETAPA EP, 2012).

### 3.1.2 Hidrografía

La parroquia San Antonio presenta una composición hídrica constituida por dos cuencas hidrográficas: al norte la cuenca del Río Cañar y al sur-oeste la cuenca del Santiago, siendo la cuenca del Cañar la principal fuente de abastecimiento para las demás fuentes hídricas con una extensión de 1371,14 km<sup>2</sup> que representa el 43 % de toda la provincia del Cañar, como se puede ver en la ilustración 3.

Los moradores cercanos al río Caimatan no cuentan con una red de agua potable, provocando que usen esta fuente para sus diversas actividades cotidianas, así interviniendo directamente en la demanda de agua para diferentes usos (SENAGUA, 2017).

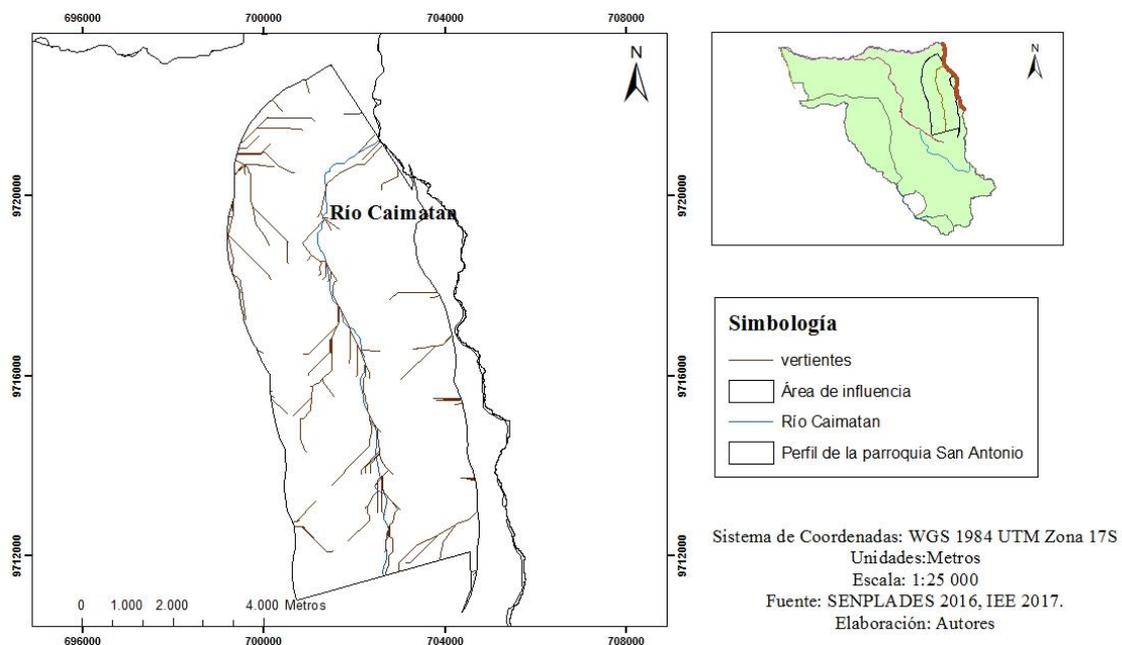


Ilustración 3. Mapa Hidrográfico de la zona de estudio.

### 3.2 Categorización del uso actual del suelo

Para la categorización del uso actual del suelo se requirieron imágenes satelitales las cuales fueron descargadas del portal web de acceso libre del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) del satélite Sentinel 2B, estas se procesaron con el software ArcGIS versión 10.5 mediante la clasificación supervisada que se basa en el método de Máxima Verosimilitud. A través de la combinación de las bandas se formó un color natural que facilitó la categorización del uso del suelo, además de realizar un análisis



visual mediante los puntos tomados in situ con el GPS, correspondientes a cada categoría propuestas por SENAGUA (2017).

### 3.2.1 Caracterización física del área de influencia

La caracterización física es necesaria para conocer el estado de la zona, se obtuvo mediante el software ArcGIS versión 10.5, a partir de la clasificación del riesgo potencial de degradación del suelo y de una evaluación del uso de tierras establecido en la Guía de SENAGUA (2017).

### 3.2.2 Riesgo potencial de degradación del suelo

#### 3.2.2.1 Pendiente del terreno

La pendiente se obtuvo a partir de información cartográfica correspondiente a las curvas de nivel. Las mismas sirvieron para realizar un MDT y a su vez determinar la pendiente del terreno, teniendo en cuenta la clasificación según sus grados de inclinación detallada en la tabla 1, generando un raster que identifica las zonas con un riesgo de erosión o la probabilidad de arrastre de sedimentos y contaminantes, en una escala de **muy bajo, bajo, medio, medio alto, alto y muy alto**, estableciendo una relación directa con los grados de inclinación, es decir que a medida que se incrementa la pendiente el riesgo de erosión es mayor (SENAGUA 2017).

Tabla 1. Clasificación de la pendiente con respecto al riesgo de erosión.

PENDIENTE		TIPO	RIESGO DE EROSIÓN
GRADOS	PORCENTAJE		
<7	< 12	Plana a suave	Muy bajo
7 - 15	12 – 27	Moderada	Bajo
15 – 20	27 – 36	Fuerte	Medio
20 – 25	36 – 47	Muy fuerte	Medio Alto
25 – 30	47 – 58	Acusada	Alto
> 30	58	Muy acusada	Muy alto

Fuente: SENAGUA 2017.



### 3.2.2.2 Profundidad del terreno

Se realizó una clasificación en 4 categorías, cuya valoración distinga el riesgo de pérdida de suelo debido a la erosión en base a la disminución de la profundidad (tabla 2), resultando al final un raster con el riesgo de pérdida de suelo según SENAGUA (2017).

Tabla 2. Riesgo de pérdida de suelo según la profundidad.

PROFUNDIDAD	TIPO	RIESGO DE PÉRDIDA DE SUELO
< 20 cm	Muy someros	Muy alto
20 – 50 cm	Someros	Medio alto
50 – 90 cm	Moderadamente profundos	Medio
> 90	Profundos	Bajo

Fuente: SENAGUA 2017

El mapa del riesgo potencial de degradación del suelo requirió el uso de cada una de las imágenes raster obtenidas, relacionando sus variables (tabla 3), mediante un análisis espacial, obteniendo un mapa de zonas codificado por colores que representa el riesgo potencial de degradación en una escala de **muy bajo (MB)**, **bajo (B)**, **medio (M)**, **alto (A)** y **muy alto (MA)** (SENAGUA, 2017).

Tabla 3. Riesgo potencial de degradación del suelo

Riesgo de Erosión	Muy Bajo	Bajo	Medio	Medio alto	Alto	Muy alto
<b>Riesgo de pérdida de suelo.</b>						
Bajo	MB	B	M	A	MA	MA
Medio	MB	B	M	A	MA	MA
Alto	MB	B	M	A	MA	MA
Muy alto	B	M	A	MA	MA	MA

Fuente: SENAGUA 2017.

### 3.2.3 Evaluación del uso de tierras

#### 3.2.3.1 Riesgo potencial de degradación del suelo

El riesgo potencial de degradación del suelo se determinó mediante los pasos de profundidad y pendiente del terreno obtenido anteriormente, a su vez éste fue necesario

para la evaluación del uso de tierras mediante la combinación con el uso actual del suelo. SENAGUA (2017).

### 3.2.3.2 Uso actual del suelo

El mapa de la categorización del uso actual del suelo obtenido mediante Máxima Verosimilitud y el de riesgo potencial de degradación del suelo que fueron ya obtenidos y sujetos a una matriz de cruce de variables; teniendo como producto final un mapa en el cual se identificaron territorios en distintos rangos de prioridad, detallados en la tabla 4. SENAGUA (2017).

Tabla 4. Matriz de evaluación del uso de tierras.

USO DE SUELO		Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Nivel 2	Nivel 1					
Bosque nativo	Bosque:	10	10	9	8	8
Plantación forestal						
Vegetación arbustiva	Vegetación	7	7	6	5	5
Páramo	Arbustiva y					
Vegetación herbácea	herbácea:					
Cultivo anual	Tierra	4	4	3	2	1
Cultivo semipermanente	agropecuaria.					
Cultivo permanente						
Pastizal						
Mosaico						

Fuente: SENAGUA 2017.

La prioridad se establece en una escala del 1 – 10 en donde se puede agrupar de la siguiente manera:

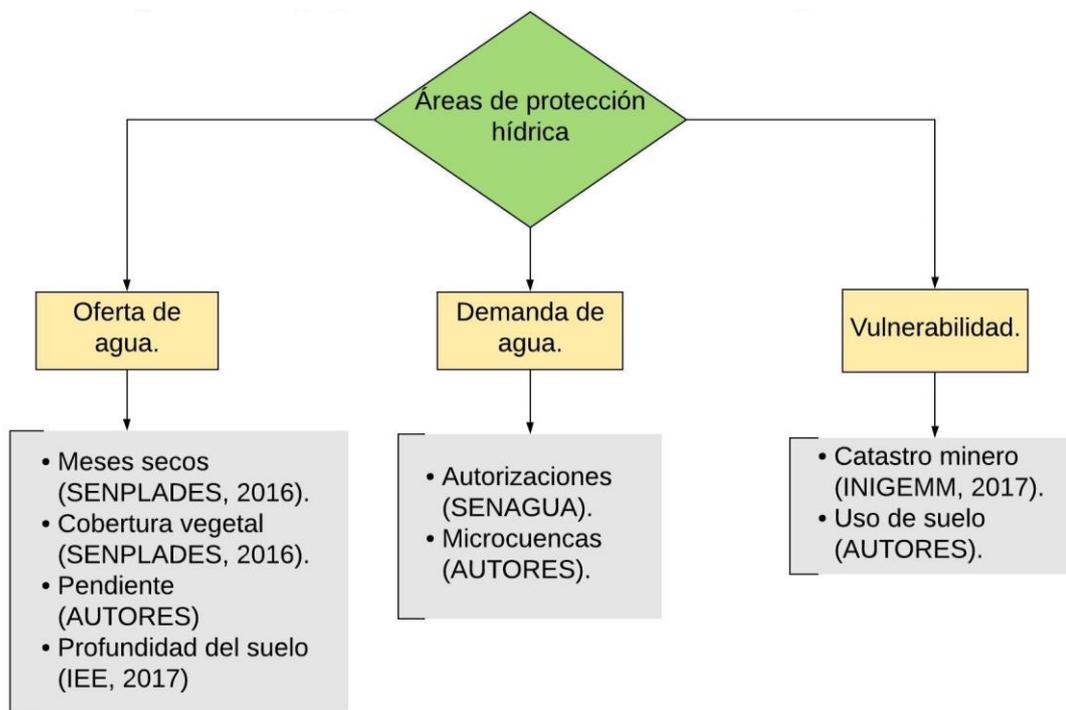
**Prioridad del 1 – 4:** Son los territorios de alta prioridad al ser más vulnerables a la degradación para llevar a cabo actividades de restauración, sostenibilidad y/o protección.

**Prioridad del 5 – 10:** Son territorios con menos prioridad, las actividades son orientadas a la protección y conservación del estado del territorio o mantenimiento de la cobertura vegetal.

### 3.3 Determinación de las Áreas de importancia Hídrica

La determinación de las áreas de importancia hídrica o protección hídrica representada por las siglas “APH”, consideró las características propias de la zona y se tomó en cuenta la problemática con respecto a la accesibilidad del agua que existe en el territorio, también la demarcación Hidrográfica en función del cruce de tres variables fundamentales: **Oferta de agua, Demanda de agua y Vulnerabilidad**, obteniendo un mapa final con las áreas de protección hídrica mediante la metodología propuesta por Segarra (2017).

A continuación en la ilustración 4 se muestra un flujograma de pasos para la determinación del Área de Protección Hídrica (APH).



*Ilustración 4. Flujograma de la metodología usada para la obtención del APH.*



### 3.3.1 Zonas de importancia Hídrica según la oferta

Se definieron las zonas de importancia hídrica mediante el mapa de oferta de agua, se requirió cuatro tipos de variables diferentes, utilizando datos de los meses secos, cobertura, profundidad del suelo y pendiente de la zona de estudio.

Cada uno de las variables nombradas anteriormente se reclasifico cualitativamente de acuerdo a su relevancia de las etapas del ciclo hidrológico en la siguiente tabla (Segarra, 2017).

Tabla 5. Relevancia de las etapas del ciclo hidrológico.

<b>Variables/mapas</b>	<b>Alto</b>	<b>Medio</b>	<b>Bajo</b>
<b>Meses secos</b>	Húmedo (<4meses)	Medio (4 a 8meses)	Seco (>8 meses)
<b>Relevancia</b>	Alto	Medio	Bajo
<b>Cobertura vegetal del suelo</b>	Humedales, bosques nubosos, bosques siempre verdes, bosques inundados y lacustres	Cobertura vegetal definidas como semidecuidos	Bosques secos y definidos como deciduos.
<b>Relevancia</b>	Alto	Medio	Bajo
<b>Profundidad de suelo</b>	Profundo (>70m)	Medio (70-20cm)	Superficiales (<20cm)
<b>Relevancia</b>	Alto	Medio	Bajo
<b>Pendiente</b>	Suaves (10%)	Medio (10-50%)	Fuerte (>50%)
<b>Relevancia</b>	Alto	Medio	Bajo

Fuente: Segarra 2017.

Mediante la valoración que se atribuye a la calificación de la relevancia de cada punto es:

Alta = 3

Media = 2

Baja=1

Para dotar de un mayor peso a las que más intervienen en el almacenamiento de agua y regulación de la esorrentía se asignó la siguiente calificación según Segarra (2017):

Meses secos (0,5).

Cobertura vegetal del suelo (0,25).



Profundidad de suelo (0,125).

Pendiente (0,125).

El resultado del cruce de variables, se dividió en 5 zonas de importancia hídrica según la oferta de agua, definidas a continuación en la tabla 6.

*Tabla 6. Clasificación de las zonas según su importancia.*

<b>Zona 1</b>	Media - baja importancia hídrica, cuenta con suelos poco profundos y pendientes pronunciadas.
<b>Zona 2</b>	Media importancia hídrica, cuenta con valores medios y bajos de profundidad y pendiente.
<b>Zona 3</b>	Media - alta importancia hídrica por el ingreso de agua.
<b>Zona 4</b>	Alta importancia hídrica por el almacenamiento y retención hídrica.
<b>Zona 5</b>	Muy alta importancia hídrica por la oferta permanente de agua debido a sus componentes biofísicos.

*Fuente: Segarra 2017.*

### ***3.3.2 Zonas de importancia Hídrica según la demanda de agua.***

Las variables que definieron la demanda de agua son autorizaciones, caudal, microcuencas y usos de agua.

**3.3.2.1 Autorizaciones:** Se identificaron 64 autorizaciones dentro del área de estudio, ubicadas en el mapa por medio de coordenadas UTM, WGS84 17 S, las mismas que fueron necesarias en la sumatoria de los caudales correspondientes a su uso.

**3.3.2.2 Caudal:** Mediante la sumatoria de datos de las autorizaciones registradas dentro de la parroquia de San Antonio, se encuentran inscritas 64 puntos; con un caudal total de 448,15 l/s; sin embargo dentro del área de influencia existen 23 autorizaciones de las cuales utilizan vertientes quebradas y el río Caimatan, con un caudal total de 133,93 l/s, el cual está dividido en diferentes usos: 132,07 l/s para el uso de riego, 1,44 l/s destinado al consumo humano, 0,109 l/s otros.



**3.3.2.3 Microcuencas:** Inicialmente se obtuvo la microcuenca de la zona de estudio para asociarla con las autorizaciones y establecer un valor total correspondiente del caudal de la microcuenca como se puede ver en la tabla 7; estableciendo así una **demanda alta, media o baja** según sea el caso (Segarra, 2017).

*Tabla 7. Valoración de la clasificación según el caudal.*

Valoración	Clasificación	Sumatoria de caudal (l/s)
3	Zona de alta demanda de agua	>38,72
2	Zona de media demanda de agua	38,72 – 22,27
1	Zona de baja demanda de agua	22,27 – 0

*Fuente: Segarra 2017*

### 3.3.3 Zona de vulnerabilidad del Recurso Hídrico

Para identificar la zona de vulnerabilidad del recurso hídrico se consideró el uso del suelo y concesiones mineras, las zonas en la que existen concesiones mineras inscritas fueron consideradas como áreas de vulnerabilidad alta; debido al riesgo que podrían provocar a las fases del ciclo hidrológico. Mediante el cuadro realizado por Segarra (2017), se establece una relación de la variable de vulnerabilidad con el uso del suelo como se puede ver en la tabla 8.

*Tabla 8. Clasificación del uso del suelo con respecto a la vulnerabilidad.*

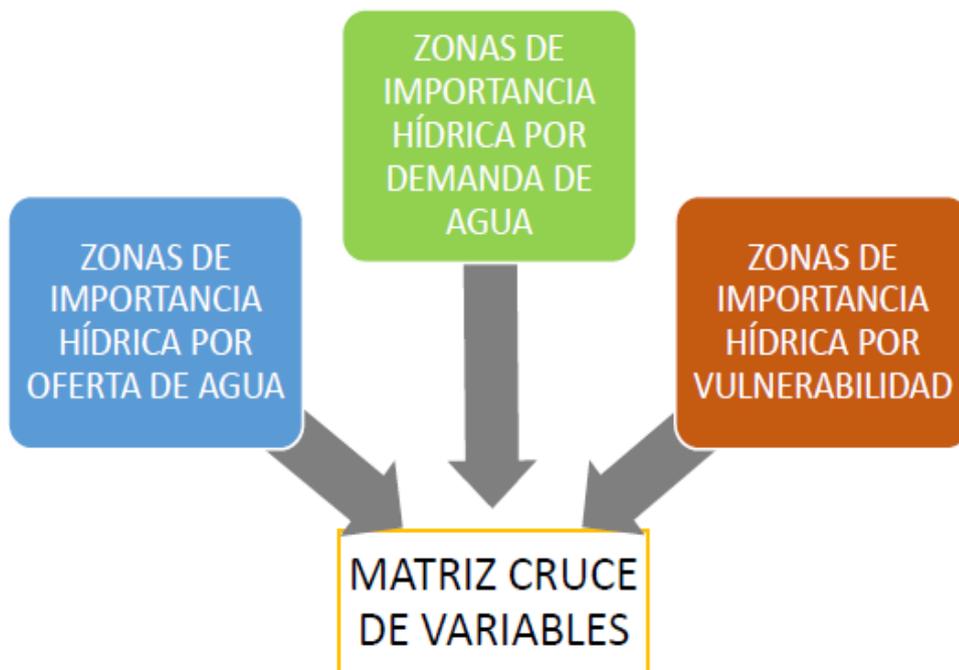
Uso del suelo	Vulnerabilidad		
	ALTA	MEDIA	BAJA
Área poblada	Alta		
Área sin cobertura vegetal	Alta		
Área con cobertura vegetal artificial	Alta		
Cultivo anual	Alta		
Infraestructura	Alta		
Pastizal	Alta		
Cultivo semi- permanente		Media	
Cultivo permanente			Baja
Mosaico agropecuario			Baja
Plantación forestal			Baja

*Fuente: Segarra 2017.*

Posteriormente se realizó un cruce de las variables definidas anteriormente reclasificadas en alta, media y baja vulnerabilidad según Segarra (2017).

### **3.3.4 Matriz de cruce de variables**

Para obtener las zonas de importancia hídrica o Áreas de Protección Hídrica (APH) priorizadas por demarcación, se llevó a cabo nuevamente un cruce de variables que requirió de los parámetros que componen los mapas representativos de las zonas de importancia hídrica en cuanto a la **oferta, demanda y vulnerabilidad** como se puede ver en la ilustración 5, el cruce de las variables de las posibles combinaciones resultantes son 45 representadas por cada una de las celdas.



*Ilustración 5. Proceso para obtener el cruce de variables.*

Las cinco zonas de la tabla 9 representan las áreas de importancia hídrica según la oferta, en cada una de las cinco zonas se distingue a su vez 9 zonas las cuales se relacionan las de vulnerabilidad y la demanda de agua, posteriormente representadas en un mapa.



Tabla 9. Matriz de cruce de variables.

		<b>Vulnerabilidad</b>			
		Baja	Media	Alta	
<b>Oferta de agua</b>	Zona 1	1	2	3	Baja
		4	5	6	Media
		7	8	9	Alta
	Zona 2	1	2	3	Baja
		4	5	6	Media
		7	8	9	Alta
	Zona 3	1	2	3	Baja
		4	5	6	Media
		7	8	9	Alta
	Zona 4	1	2	3	Baja
		4	5	6	Media
		7	8	9	Alta
	Zona 5	1	2	3	Baja
		4	5	6	Media
		7	8	9	Alta

**Demanda de agua**

*Fuente: Segarra 2017.*

### 3.4 Determinación de los puntos de muestreo

Se definieron tres puntos de muestreo a lo largo de la microcuenca del río Caimatan, mediante el uso de suelo; puesto que las actividades agropecuarias son las principales causantes de la contaminación del agua. SENAGUA (2017).

Se ejecutaron 3 campañas de muestreo en cada punto durante la época seca y lluviosa (véase tabla 10 e ilustración 6).



Tabla 10. Coordenadas de los puntos de monitoreo.

Puntos de monitoreo	Criterio	Coordenadas (WGS 1984 UTM Zona 17S)	
		X	Y
<b>Punto 1</b>	Aguas arriba, pajonal, nacimiento del río	702793	9712206
<b>Punto 2</b>	Cambio de la vegetación por actividades antrópicas	701199	9719022
<b>Punto 3</b>	Punto final del río Caimatan antes de unirse con el río Corazón	702537,9	9721243,5

*Elaboración: Autores*

### 3.4.1 Justificación de la elección de los puntos de muestreo

- Punto 1: Se seleccionó este punto debido a que ahí nace el río Caimatan por lo que existe poca influencia de los centros poblados y es de complejo acceso, está rodeado de pajonal y bosques.
- Punto 2: Para este punto se tomó en cuenta la primera vivienda cercana al río en la cual se dedican a la ganadería y agricultura, se denota un cambio de uso de suelo muy marcado con relación al pajonal y bosques.
- Punto 3: Como último punto se eligió el tramo final del río antes de unirse con el río Corazón, se observó que parte de la flora que rodea a este fue intervenida por la población; a lo que se encuentra gran cantidad de cultivos pertenecientes a la costa como: banano, caña de azúcar y cacao.

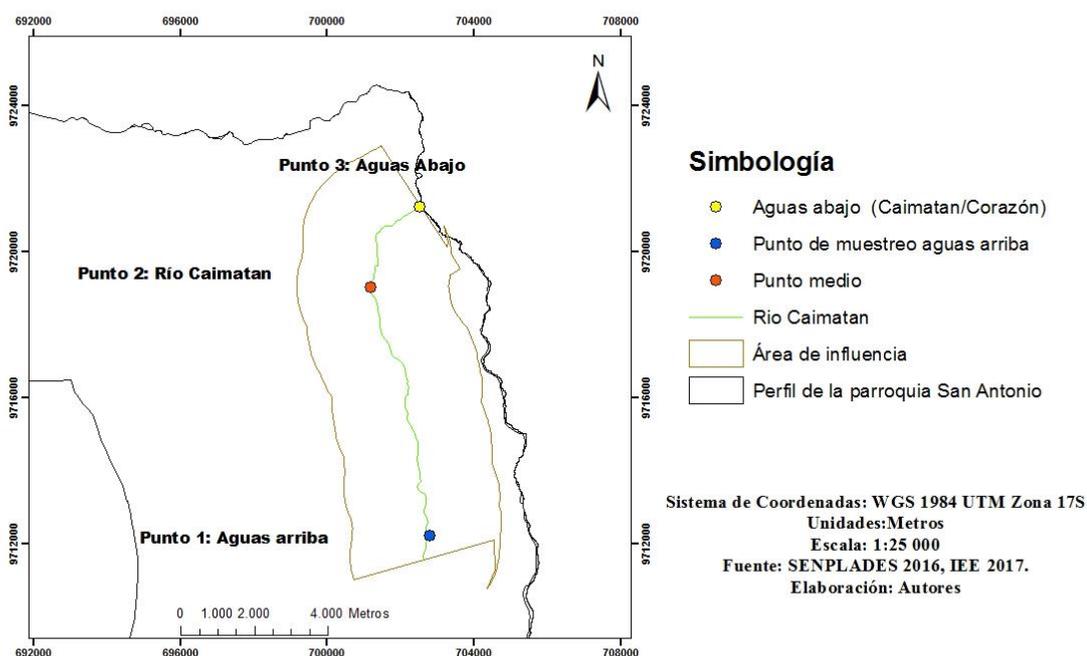


Ilustración 6. Mapa con los puntos de monitoreo.

### 3.5 Determinación de la calidad del agua del río Caimatan

Durante el muestreo se tomó en cuenta principalmente los datos de precipitación generados por el INAMHI en los anuarios meteorológicos. Se realizaron tres campañas de muestreo durante los meses de: abril, mayo y junio de 2019 (tabla 11). Considerando los meses de junio a diciembre (temporada seca); mientras que en la temporada lluviosa, corresponde de enero a mayo.

Tabla 11. Precipitación de los meses seleccionados para el muestreo.

Mes	Precipitación (mm)	Fechas de monitoreo
Abril	81,38	23/04/2019
Mayo	45,9	28/05/2019
Junio	25,32	28/06/2019

Elaboración: Autores.

Fuente: INAMHI

#### 3.5.1 Métodos y técnicas para el análisis de agua

Antes de proceder a tomar las muestras de agua se utilizó protección personal para la manipulación como: mascarillas, mandil y guantes. Debido a la variación que acarrea el



transporte de las muestras al laboratorio, se determinó la temperatura, oxígeno disuelto y caudal in situ con ayuda del equipo multiparámetro y para el caudal se utilizó el caudalímetro obteniendo resultados precisos.

Para el análisis de los otros parámetros se utilizó un frasco Winkler con capacidad de 300 ml para determinar el DBO5, recipientes de vidrio de 500 ml esterilizados para Coliformes fecales y tarros plásticos de 1 lt para los parámetros físico-químicos.

Para preservar las muestras se colocó gel refrigerante entre los tarros de plástico dentro de un cooler hasta la entrega al laboratorio. El procedimiento descrito anteriormente se repitió 3 veces en las diferentes fechas para cada uno de los puntos de muestreo.

Se puede observar en la tabla 12 cada parámetro evaluado con su respectivo método utilizado.

*Tabla 12. Parámetros y métodos utilizados en el análisis del agua*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método</b>
$\Delta T$	°C	Multiparámetro (55-12FTYSI)
<b>Porcentaje de Saturación</b>	% saturación	Multiparámetro (55-12FTYSI)
<b>Turbiedad</b>	NTU, FTU	Nefelométrico (turbidímetro / colorímetro)
<b>Nitratos</b>	mg/l	Espectrofotométrico del salicilato de sodio
<b>Fósforo total</b>	mg/l	Colorimétrico del ácido vanadomolibdofosfórico
<b>Sólidos totales</b>	mg/l	Gravimétrico
<b>pH</b>		Potenciométrico (electrodos de pH)
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)</b>	mg/l	Dilución
<b>Coliformes fecales</b>	NMP/100 ml	Tubos múltiples



Caudal

m/sg

Caudaliméetro

---

*Fuente: Laboratorio de Calidad de agua de la Universidad de Cuenca.*

### 3.6 Aplicación del ICA-NSF multiplicativo

Para determinar el “ICA-NSF” intervienen 9 parámetros, los cuales son:

- Porcentaje de saturación de oxígeno
- Coliformes fecales
- pH
- Demanda bioquímica de oxígeno
- Nitratos
- Fosfatos
- Temperatura
- Turbiedad
- Sólidos totales

Para el cálculo del ICA-NSF se precisó de los resultados de todos los parámetros mencionados anteriormente. Se utilizó el índice multiplicativo ya que es más sensible a valores extremos en los subíndices el cual muestra mayor precisión. (Pérez et al., 2018).

El “ICA-NSF” multiplicativo se emplea la siguiente fórmula:

$$ICM = \prod_{i=1}^n I_i = (I_1^{W_1})(I_2^{W_2}) \dots (I_n^{W_n}) \quad (1)$$

Dónde:

**ICM:** Índice de calidad multiplicativo

**I<sub>i</sub>:** Subíndice del parámetro i; (se encuentra entre 0 y 100)



**Wi:** Pesos relativos asignados a cada parámetro ( $I_i$ ), y ponderados entre 0 y 100, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a 100.

Los subíndices de cada parámetro se obtuvieron mediante las fórmulas y las gráficas de curvas de calidad, que se presentan en el Anexo 2. En la tabla 13 se muestra los valores de los pesos relativos asignados a cada parámetro.

Tabla 13. Pesos de cada parámetro propuesto por el ICA-NSF

Parámetros	Peso ( $W_i$ )
Temperatura	0,10
Oxígeno Disuelto	0,17
DBO5	0,11
Sólidos totales	0,07
Turbiedad	0,08
Fosfatos	0,10
Nitratos	0,10
pH	0,11
Coliformes fecales	0,16

Fuente: Brown et al., 1970.

Para el ajuste de curvas para determinar los factores de escala de los subíndices se realizó por medio de las fórmulas propuestas que se detallan a continuación:

#### ❖ Cambio de temperatura

(2)

$$I_{\Delta T} = 1.9619 \times 10^{-6} \Delta T^6 - 1.3964 \times 10^{-4} \Delta T^5 + 2.5908 \times 10^{-3} \Delta T^4 + 1.5398 \times 10^{-2} \Delta T^3 - 6.7952 \times 10^{-1} \Delta T^2 - 6.7204 \times 10^{-1} \Delta T + 9.0392 \times 10^1$$

(3)

$$\text{Si } \Delta T > 15^\circ\text{C} \therefore I_{\Delta T} = 5\%$$



❖ **Potencial de hidrógeno**

.  
(4)

*Si  $pH \leq 7.5$  ∴*

$$I_{pH} = -0.1789pH^5 + 3.7932pH^4 - 30.517pH^3 + 119.75pH^2 - 224.58pH + 159.46$$

.  
(5)

*Si  $pH > 7.5$  ∴*

$$I_{pH} = -1.11429pH^4 + 44.50952pH^3 - 656.60pH^2 + 4215.34762pH - 9840.14286$$

(6)

*Si  $pH < 2$  ó  $pH > 12$  ∴  $I_{pH} = 0\%$*

❖ **Demanda bioquímica de Oxígeno en 5 días**

.  
(7)

$$I_{DBO_5} = 1.8677x10^{-4}DBO^4 - 1.6615x10^{-2}DBO^3 + 5.9636x10^{-1}DBO^2 - 1.1152x10^1DBO + 1.0019x10^2$$



(8)

$$\text{Si } DBO_5 > 30 \text{ mg/l} \therefore I_{DBO_5} = 2\%$$

❖ **Oxígeno disuelto en porcentaje de saturación**

(9)

$$I_{\%OD} = 3.1615x10^{-8}\%OD^5 - 1.0304x10^{-5}\%OD^4 + 1.0076x10^{-3}\%OD^3 \\ - 2.7883x10^{-2}\%OD^2 + 8.4068x10^{-1}\%OD - 1.6120x10^{-1}$$

(10)

$$\text{Si } \%OD > 140 \therefore I_{\%OD} = 50\%$$

❖ **Turbiedad**

(11)

$$I_T = 1.8939x10^{-6}T^4 - 4.9942x10^{-4}T^3 + 4.9181x10^{-2}T^2 - 2.6284T \\ + 9.8098x10^1$$

(12)

$$\text{Si Turbiedad} > 100 \text{ NTU} \therefore I_T = 5\%$$

❖ **Nitratos**

(13)

$$I_{Nitratos} = 3.5603x10^{-9}N^6 - 1.2183x10^{-6}N^5 + 1.6238x10^{-4}N^4 \\ - 1.0693x10^{-2}N^3 + 3.7304x10^{-1}N^2 - 7.5210N + 1.0095x10^2$$



(14)

*Si Nitratos > 100 mg/l ∴ I<sub>CF</sub> = 1%*

❖ **Fosfatos**

(15)

$$I_P = 4.6732x10^{-3}P^6 - 1.6167x10^{-1}P^5 + 2.2059P^4 - 1.50504x10^1P^3 + 5.3889x10^1P^2 - 9.98933x10^1P + 9.98311x10^1$$

(16)

*Si Fosfatos > 10 mg/l ∴ I<sub>P</sub> = 2%*

❖ **Sólidos totales**

(17)

$$I_{ST} = -4.4289x10^{-9}ST^4 + 4.970x10^{-6}ST^3 - 1.9591x10^{-3}ST^2 + 1.8973x10^{-1}ST + 8.0608x10^1$$

(18)

*Si ST > 500 mg/l ∴ I<sub>ST</sub> = 20%*

❖ **Coliformes fecales**

(19)

$$Si 1 \leq CF \leq 10 \therefore I_{CF} = -10.12 \ln(CF) + 95.896$$

(20)

$$Si 10 < CF \leq 100 \therefore I_{CF} = 111.86 CF^{-0.194}$$



(21)

$$\text{Si } 100 < CF \leq 1000 \therefore I_{CF} = -10.34 \ln(CF) + 92.777$$

(22)

$$\text{Si } 1000 < CF \leq 10000 \therefore I_{CF} = 1 \times 10^{-7} CF^2 - 0.0024 CF + 23.308$$

(23)

$$\text{Si } 10000 < CF \leq 100000 \therefore I_{CF} = -3.072 \ln(CF) + 38.331$$

(24)

$$\text{Si } CF > 100000 \therefore I_{CF} = 2\%$$

Posterior a la determinación de cada parámetro se realizó la clasificación de la calidad del agua según el valor obtenido, Robert Brown en 1970 considera la siguiente clasificación la cual fue adoptada por el ICA-NSF; a continuación se detalla en la tabla 14.

Tabla 14. Clasificación del ICA-NSF

Índice de Calidad	Clasificación
91-100	Calidad Excelente
71-90	Calidad Buena
51-70	Calidad Mediana
26-50	Calidad Mala
0-25	Calidad muy mala

Fuente: Brown et al., 1970.

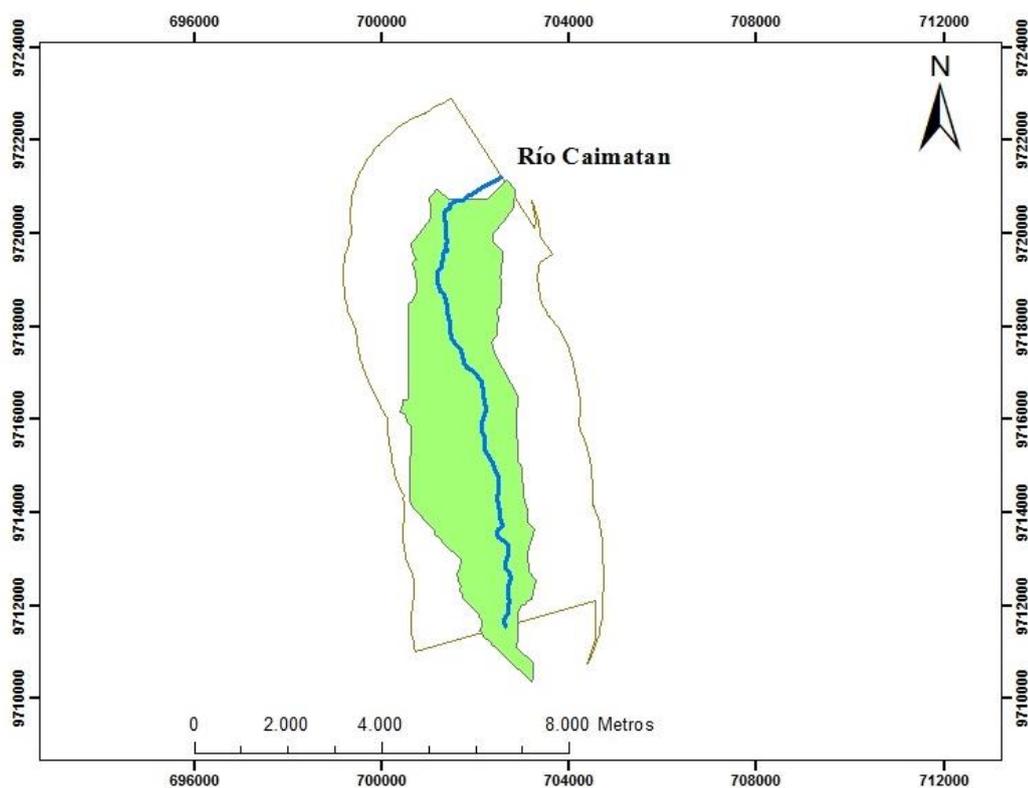
## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Resultado de la delimitación del área de influencia y la generación de la microcuenca

Se obtuvo el área de influencia del río Caimatan con una superficie de 5690,75 ha, dentro de la cual se llevó a cabo el procesamiento de datos para obtener el uso actual del suelo, evaluación del uso de tierras, delimitación de las áreas de protección hídrica y campañas de muestreo. (Ilustración 7).

El resultado de la obtención de la microcuenca se puede observar en la siguiente ilustración, la cual indica el área de influencia y la microcuenca del río Caimatan



#### Simbología

-  Río Caimatan
-  Microcuenca del río Caimatan
-  Área de influencia

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 17S

Unidades: Metros

Escala: 1:25 000

Fuente: SENPLADES 2016, IEE 2017.

Elaboración: Autores

*Ilustración 7. Mapa del área de influencia de la zona de estudio.*



La creación de la microcuenca del río Caimatan es usado por organizaciones a nivel del país como es el caso del Ecuador; con la participación de la UICN, SENAGUA, & SGCAN (2016) y a nivel de América del sur (UICN, 2016), en los cuales se ratifica la efectividad del método semiautomático propuesto para la delimitación de unidades hidrográficas.

#### **4.2 Resultados de la categorización y el uso actual del suelo**

El área de influencia corresponde a 5690,75 ha, de las cuales se identificaron 10 categorías de uso actual del suelo (ilustración 8), obteniendo que los bosques nativos ocupan el 20,62% (1173,54 ha) del total de la zona de influencia, seguido de la vegetación arbustiva con 14,94% (850,12 ha), páramo con 12,47% (709,47 ha), áreas intervenidas con 12,26% (697,95 ha), vegetación herbácea con 11,57% (658,46 ha), plantación forestal con 8,11% (461,58 ha), cultivo anual con 6,63% (377,1 ha) cultivo semipermanente con 5,54% (315,25 ha), pastizal con 4,93% (280,42 ha) y cultivo permanente con 2,93% (166,86 ha).

El resultado de usar imágenes satelitales Sentinel 2B para categorizar el uso actual del suelo presenta un mapa con un nivel de detalle más alto por la mejor resolución espacial y espectral que cuenta Sentinel 2; guardando relación con los resultados comparativos entre Sentinel 2 y Landsat llevado a cabo por Sánchez-Espinosa & Schröder (2019). La importancia de generar datos actuales sobre las actividades desarrolladas en el suelo para determinar áreas de protección hídrica es sostenido por estudios similares hechos por Albert, Rottensteiner, & Heipke (2017) y Clerici, Cote-Navarro, Escobedo, Rubiano & Villegas, (2019).

A su vez la precisión del método de máxima verosimilitud en la categorización del uso actual del suelo está sujeta a una matriz de confusión véase Anexo 3, con la que se logró conseguir una exactitud superior al 80 %, siendo esta semejante a la conseguida en estudios desarrollados por Barboza, Salas, Mendoza, Oliva & Corroto (2018), Sánchez-Espinosa & Schröder, 2019) y Belay & Ayalew (2019).

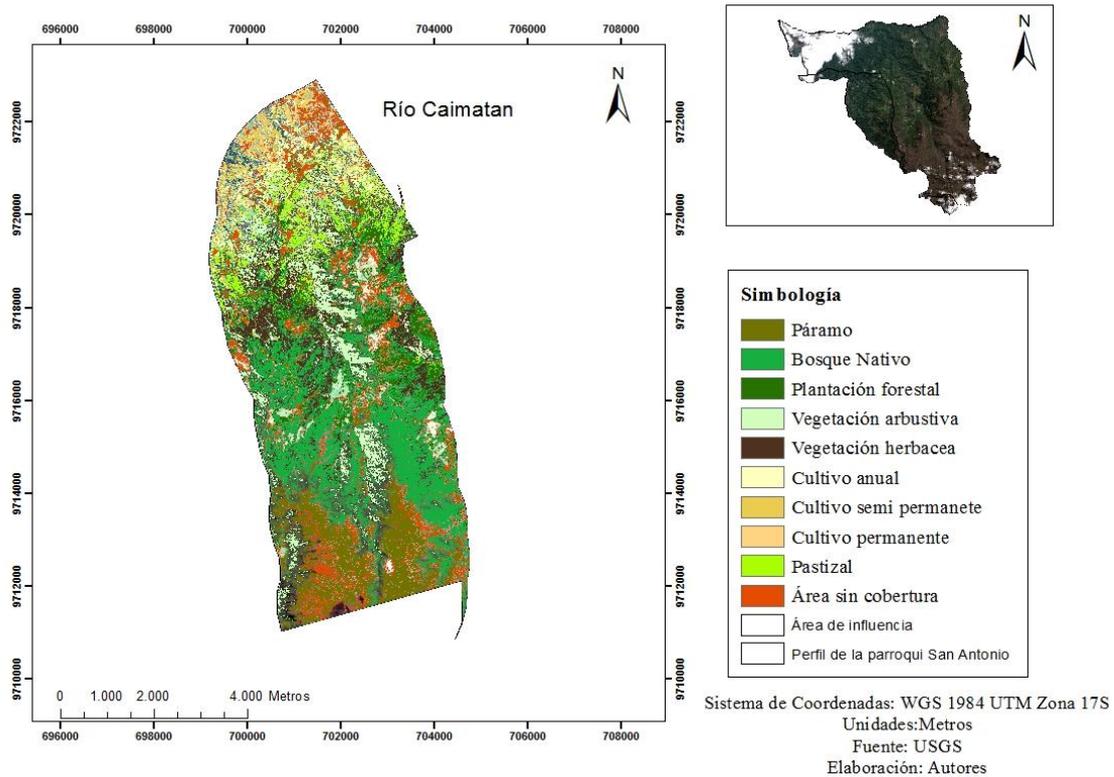


Ilustración 8. Categorización del uso actual del suelo.

En la evaluación del uso de tierras se obtuvo áreas en las cuales se desarrollan actividades antrópicas dentro de territorios frágiles. En la ilustración 9 se observan áreas con una escala de priorización de 1-4 consideradas de alta prioridad, con una superficie equivalente a 12,04% (685 ha) dentro del área de influencia, siendo estas áreas idóneas para actividades de restauración o protección, debido a que se llevan a cabo actividades que afectan al suelo, las mismas que se realizan en territorios cuyas pendientes son mayores a 20 °; estableciendo un riesgo de erosión **medio alto, alto y muy alto**, y con un riesgo de pérdida de suelo **medio alto y muy alto** a medida que disminuye la profundidad del suelo a partir de los 50 cm, además de desarrollarse sobre tierras con un uso de suelo inadecuado; es decir que dichas actividades se efectúan sobre: **el bosque nativo, plantación forestal, vegetación arbustiva, páramo, vegetación herbácea**, a su vez que son parte de dos ecosistemas: **herbazal del páramo y Bosque siempre verde montano alto de la Cordillera Occidental de los Andes** siendo de gran importancia por su endemismo y balance hídrico, reiterando la posición como zonas de alta prioridad.

Las zonas de priorización dentro del rango de 5 – 9 consideradas como menor prioridad ocupan un área de 5005,75 ha, compuesta por zonas con un riesgo de erosión **muy bajo**,

**bajo y medio** encontrándose en territorios con pendientes menores a  $20^\circ$  y un riesgo de pérdida del suelo **medio y bajo** a medida que aumenta la profundidad del suelo a partir de los 50 cm. Estas zonas marcan una gran diferencia con respecto al territorio catalogado de alta prioridad en términos de superficie, el área mencionada representa el 87,96 % de la zona de influencia y es resultado de la intervención antrópica en ecosistemas como: **Bosque siempre verde montano de la Cordillera Occidental de los Andes, Bosque siempre verde montano bajo de la Cordillera Occidental de los Andes, herbazal del páramo y Bosque siempre verde montano alto de la Cordillera Occidental de los Andes**; considerado a menor escala y con un menor impacto, es decir que las actividades antrópicas se desarrollan en tierras con una mayor profundidad y con pendientes no tan pronunciadas, reduciendo el riesgo de degradación del suelo, esto se traduce en zonas más extensas definidas como de menor prioridad; sin embargo son consideradas de importancia para la delimitación de áreas de protección hídrica, debido a que se podrá llevar a cabo acciones de recuperación o restauración dentro del territorio.

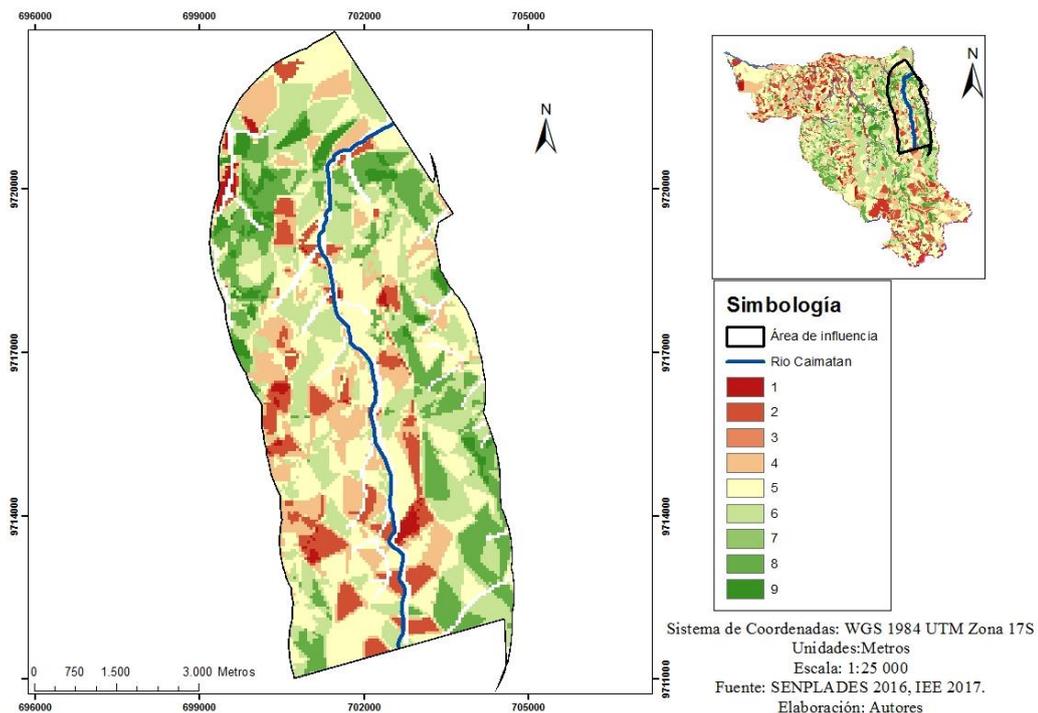


Ilustración 9. Mapa de la evaluación del uso de tierras.

### 4.3 Resultado de la determinación de las áreas de importancia hídrica

Los mapas complementarios para la obtención de las áreas de importancia hídrica se encuentran en el Anexo 1.

### 4.3.1 Resultado de las zonas de importancia según la oferta de agua.

La oferta de agua de media importancia predominó con el 46,96% (2672,5 ha) dentro del área de influencia, la zona 5 de muy alta importancia se encuentra ubicada en su mayoría en la parte alta del río Caimatan, cercana al punto de donde nace el río representado 1,26% (71,5 ha). (Ilustración 10)

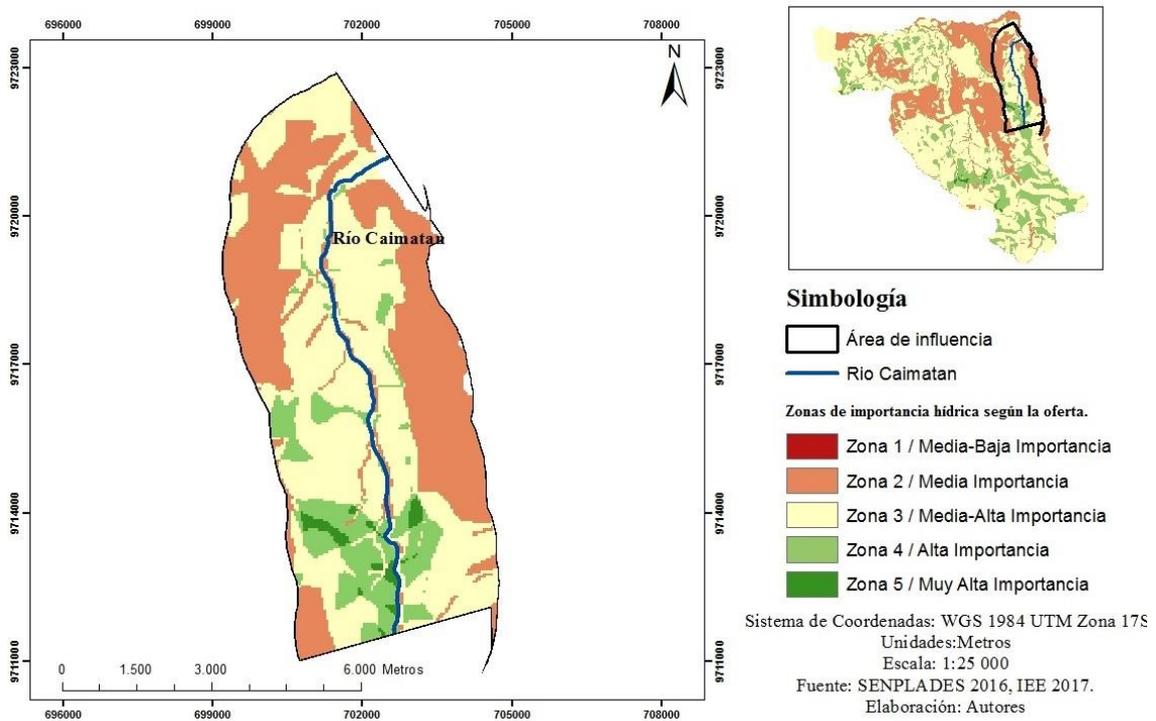


Ilustración 10. Mapa de oferta de agua.

Los aspectos geomorfológicos e hidrográficos son considerados en estudios relacionados con el manejo integrado de cuencas hidrográficas como el desarrollado por Brombal et al. (2018), son de gran importancia para orientar un trabajo desde el punto de vista ambiental; como demuestran también los resultados obtenidos por Fitton et al. , (2019), Señalando la rápida expansión de la frontera agrícola y la dificultad para satisfacer la demanda de agua para los diferentes usos que se den en el mismo, siendo estos parte de una problemática importante a ser considerada para la designación de las área de importancia hídrica. (Antonio, Aguilar, Campo, Nebot, & Gimeno-García, 2019).

Según Jia et al. (2019) y Balaei, Wilkinson, Potangaroa, Adamson & Alavi-Shoshtari (2019) la mala distribución del agua provoca escenarios de escasez, por lo que en los

resultados delimitan un territorio de abastecimiento significativo para precautelar el caudal de aporte, sus resultados mantienen relación con la determinación de las cinco zonas de importancia según la oferta de agua en especial con la zona 5 de muy alta importancia; siendo esta de crucial interés para la conservación, debido a que dentro de esta se encuentran cuerpos de agua, humedales, bosques siempre verdes con una superficie de 71,5 ha del total del área de influencia.

#### 4.3.2 Resultado de las zonas de importancia según la demanda de agua.

En la zona de estudio se obtuvo que las zonas de alta demanda ocupan un área muy pequeña que representa el 5,92% (337,25 ha), sin embargo las zonas consideradas de demanda baja ocupan 60,83% (3462,25 ha) del área total. (Ilustración 11)

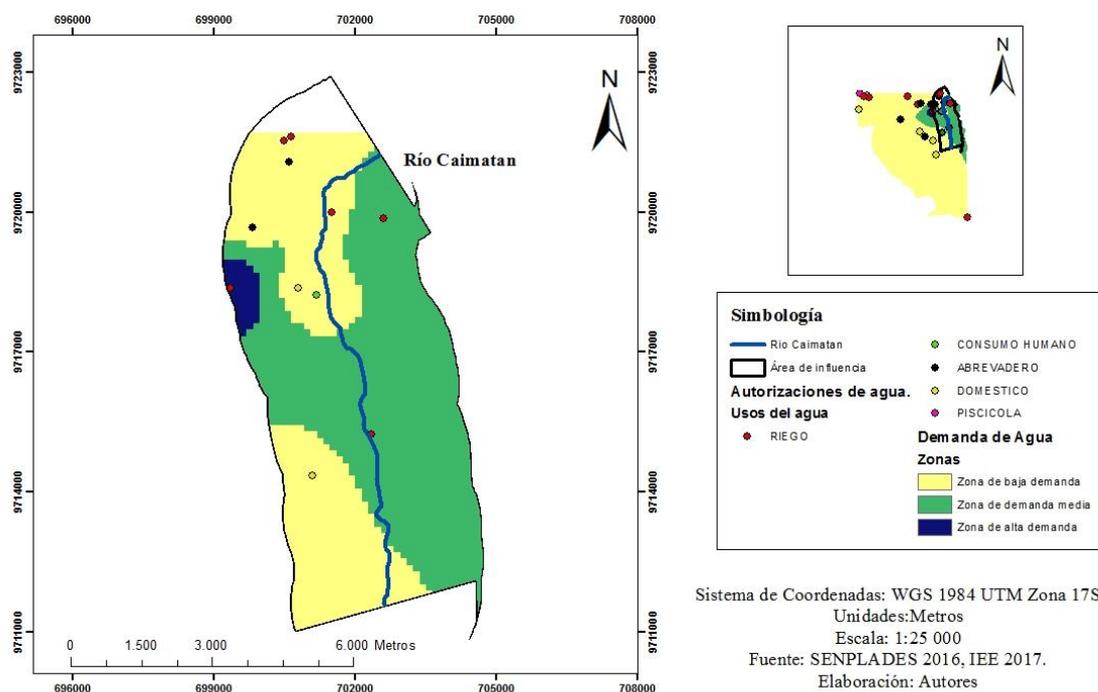


Ilustración 11. Mapa de importancia hídrica según la demanda.

La demanda hídrica en Argentina en los ríos de la cuenca del Plata, Patagonia, Mendoza, San Juan y la resultante en Jia, Hubbard, Zhang & Chen (2019) regulan las relaciones de las personas con el agua, de manera semejante con respecto a las autorizaciones concedidas a lo largo del río Caimatan, siendo esta una de las diversas maneras para que se equilibre el ciclo hidrológico; generando un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo humano en el cual las actividades productivas no afecten a la oferta y el ciclo

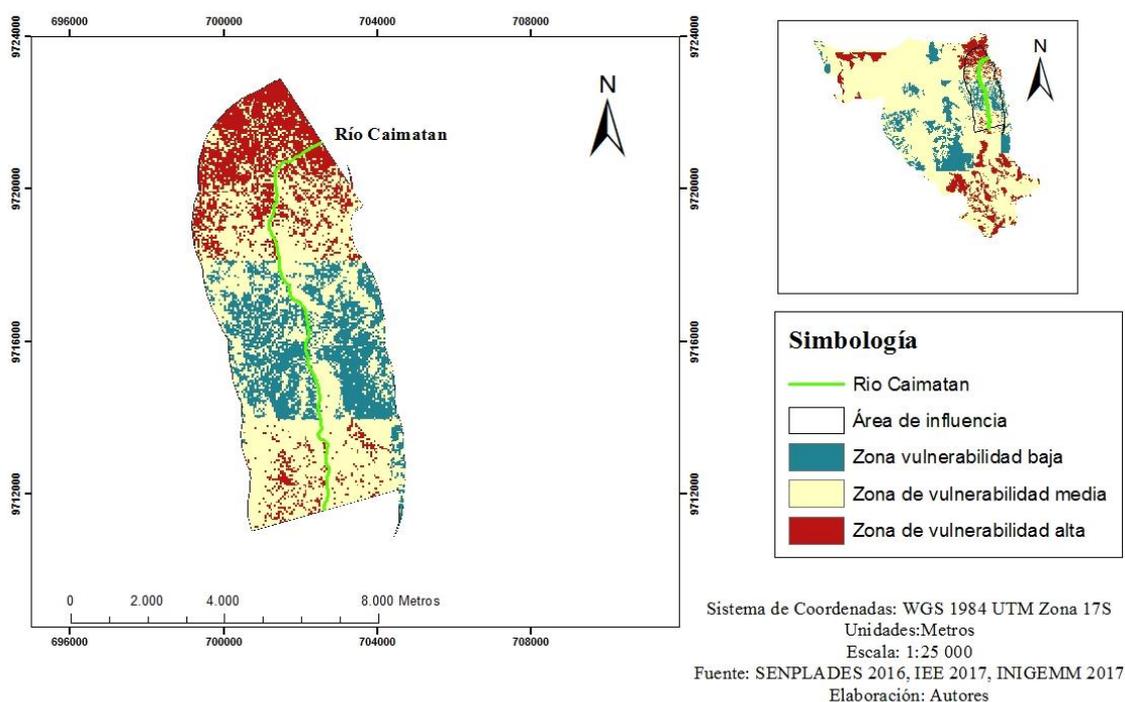


hidrológico (Soldado 1947; Tossini 1959; Curvetto et al, 1970), de tal manera han sido ratificadas como en el trabajo que presento Ferrer & Torrero (2015).

Como se mencionó anteriormente las relaciones de las personas con el agua son necesarias para llegar a un equilibrio; este se observa mediante la determinación del caudal en el punto de monitoreo 3 y el total del caudal dado por las autorizaciones en el área de influencia, ya que el caudal dado por las autorizaciones representa el 6,38 % del caudal medido en el mes de Junio tomado como referente debido a su menor caudal a comparación de las campañas en los meses pasados, dejando un 90 % de recurso no utilizado.

#### **4.3.3 Resultado de las zonas de importancia según la vulnerabilidad del agua**

El resultado obtenido en la zona de estudio muestra que la vulnerabilidad considerada como media abarca gran parte con 44,44 % (2529,08 ha), la vulnerabilidad baja representa 26,53% (1509,83 ha), y la zona de vulnerabilidad alta 29,03% (1651,84 ha) la cual se encuentra distribuida en toda el área de influencia pero en mayor cantidad en la zonas bajas dentro de la parroquia de San Antonio incluyendo toda su infraestructura, cultivos y una concesión minera. (Ilustración 12)



*Ilustración 12. Mapa de zonas de vulnerabilidad del recurso hídrico.*

La vulnerabilidad del recurso al basarse tanto al uso del suelo como a las concesiones mineras necesita información actual de los mismos, debido a que el uso del suelo está sujeto a ser cambiante en el tiempo (Kosiba & Hunter, 2017), son catalogados como de alta vulnerabilidad los territorios con suelo descubierto; al quedar expuestos a las condiciones sujetas del territorio se altera su capacidad para regular, interceptar y almacenar el agua (Segarra, 2017), las concesiones mineras son un riesgo potencial a la calidad del agua produciendo la contaminación de acuíferos por químicos usados en el proceso de extracción de los minerales de interés.

A continuación se presenta en la tabla 15 el resultado de las superficies de las tres variables: oferta de agua, demanda de agua y vulnerabilidad con su clasificación correspondiente.



Tabla 15. Áreas de las clasificaciones de: oferta, demanda y vulnerabilidad.

<b>Oferta de agua</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Demanda de agua</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Vulnerabilidad del recurso</b>	<b>Área (ha)</b>
Zona 2	<b>2672,5</b>	Baja	<b>3462,25</b>	Baja	<b>1509,83</b>
Media importancia					
Zona 3	<b>2340,25</b>	Media	<b>1891,25</b>	Media.	<b>2529,08</b>
Media – alta importancia					
Zona 4	<b>606,5</b>	Alta	<b>337,25</b>	Alta	<b>1651,84</b>
Alta importancia.					
Zona 5	<b>71,5</b>				
Muy alta importancia					

Fuente: Autores

#### 4.3.4 Resultado de las áreas de protección hídrica

En la ilustración 13 se puede observar el mapa resultado del cruce de las tres variables: oferta, demanda y vulnerabilidad. El porcentaje que predominó dentro del área de estudio fue en la priorización 6 representando el 30% (1708,1 ha) del área de influencia, seguida de la priorización 7 la cual representa el 26,71% (1520,14 ha) y priorización 5 que representa el 21,82% (1242 ha). A pesar de su bajo porcentaje en relación al total de la superficie (5690,75 ha), las áreas representadas por las priorizaciones 8 y 9, son las que demuestran mayor importancia dentro de la zona de estudio siendo el 16,65 % del área de influencia; representando a las variables de alta relevancia en el proceso de análisis de oferta, demanda, y vulnerabilidad del recurso.

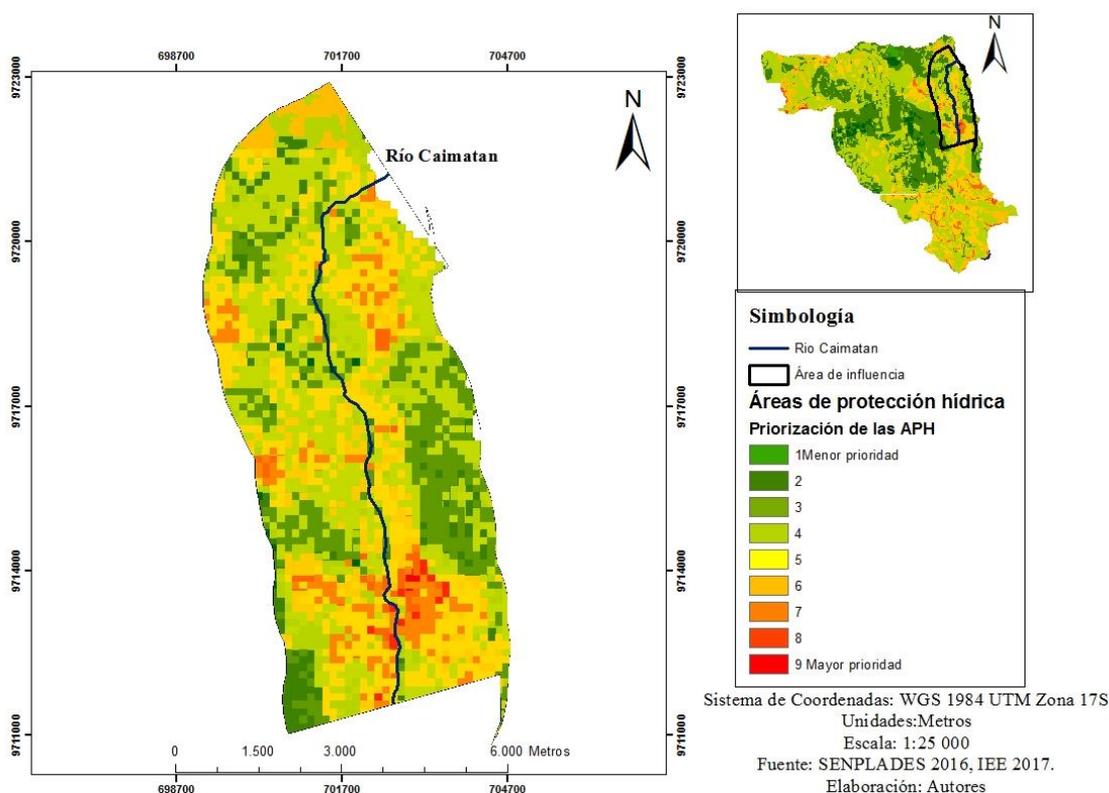


Ilustración 13. Mapa de las áreas de protección hídrica.

Tabla 16. Superficie y porcentaje de las APH en el área de estudio.

APH	Área (ha)	%
Prioridad 4	272,81	4,79
Prioridad 5	1242	21,82
Prioridad 6	1708,1	30,02
Prioridad 7	1520,14	26,71
Prioridad 8	<b>687,82</b>	<b>12,09</b>
Prioridad 9	<b>259,87</b>	<b>4,57</b>
<b>TOTAL</b>	5690,75	100

Fuente: Autores

Las áreas de mayor prioridad están concentradas en su mayoría en la parte alta del río Caimatan, las mismas que corresponde al origen de la fuente de agua, que presentan ecosistemas de alta importancia por su fragilidad; son áreas dentro de concesiones mineras y puntos de alta demanda de agua, éstos puntos son identificados en la ilustración 14 mediante los puntos de autorización 1, autorización 2 y autorización 3 con caudal de

aporte de 40,2 l/s, 49,46 l/s y 24 ,86 l/s respectivamente, siendo el riego su uso principal; mediante el mismo se puede asumir que las áreas aledañas a las autorizaciones van a estar afectadas por actividades antrópicas.

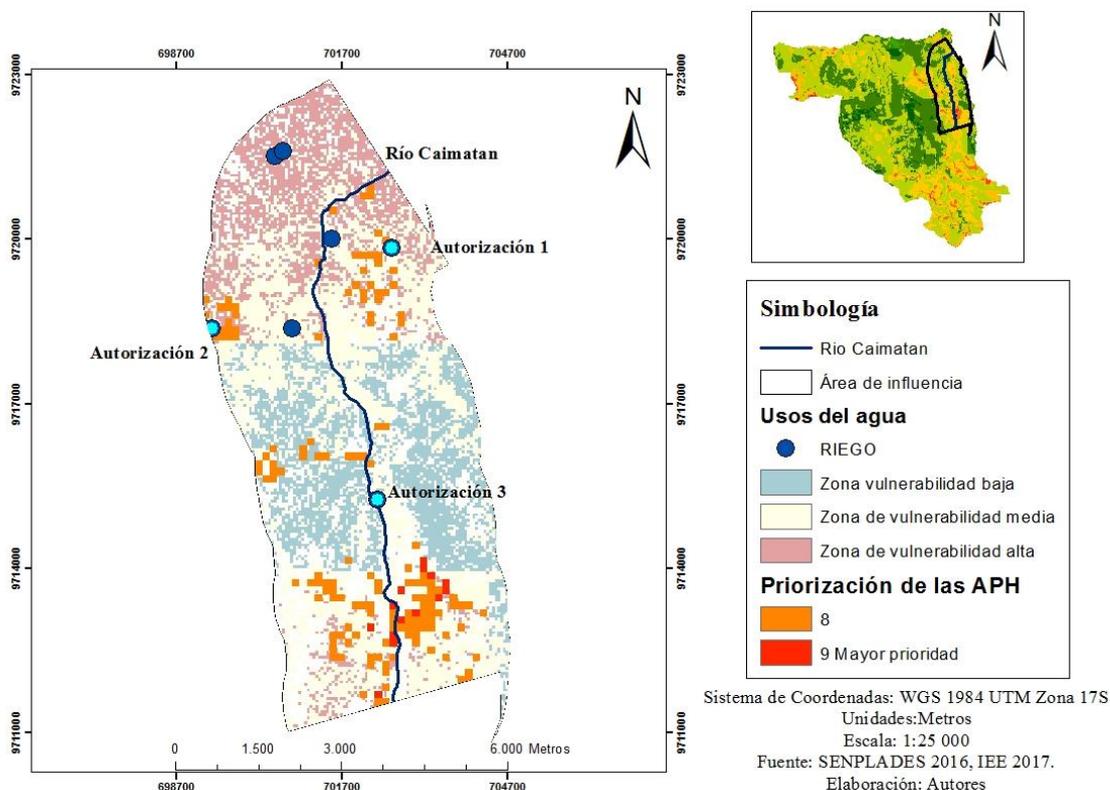


Ilustración 14. Mapa de las áreas de mayor prioridad hídrica según los puntos de demanda y vulnerabilidad de agua.

La superficie de mayor importancia forma parte de ecosistemas como: Arbustal siempre verde y herbazal del páramo, Bosque siempre verde montano alto de la Cordillera Occidental de los Andes. Véase en la ilustración 15.

Estos ecosistemas son de vital importancia dentro del ciclo hidrológico y la oferta del agua por lo cual se precisa de protección, debido a que están asociados directamente con la intervención antrópica y actividades que disminuyen la capacidad de resiliencia y regeneración de los mismos.

La vegetación juega un papel fundamental como indicador de un balance hídrico positivo, es decir que las pérdidas por corrientes y evapotranspiración son menores que las entradas por precipitación o escorrentía, puesto que la vegetación compuesta por musgos, plantas epífitas y remanentes arbustivos permiten la intercepción del agua lluvia disminuyendo la energía cinética de las gotas de agua que erosionan el suelo. La hojarasca que genera

la vegetación de este tipo de ecosistemas, permite el almacenamiento de agua, ayuda a reducir el flujo que se infiltra en el suelo y continuamente brinda protección al suelo de la erosión en zonas de pendiente.

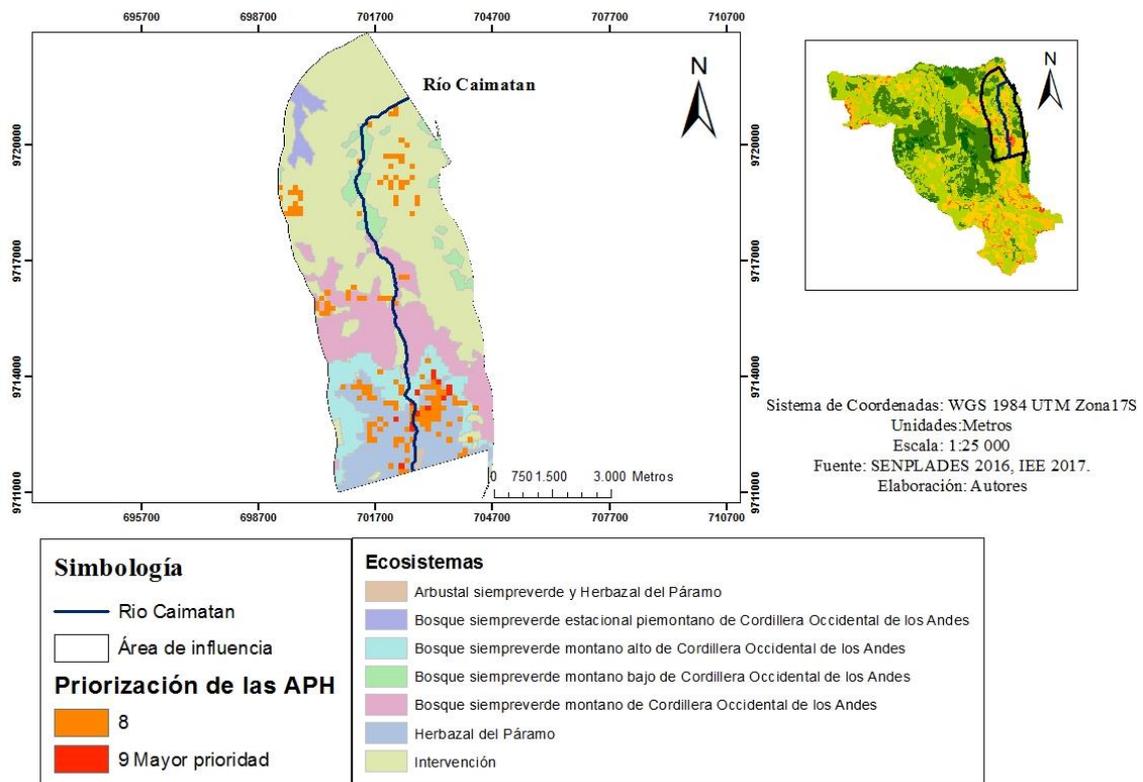


Ilustración 15. Mapa de los ecosistemas que se encuentran dentro de las áreas de mayor prioridad hídrica.

La primera determinación de APH del país y Suramérica fue en Ponce-Paluguillo, ubicada Quito-Ecuador; la cual presenta un área de 4260,63 ha a través de la metodología descrita por Segarra (2017), se encuentra sujeta a las mismas variables que se utilizó durante la determinación del APH en la zona de estudio del río Caimatan, demostrando características similares en las áreas de importancia hídrica de mayor prioridad, siendo así complementado mediante el análisis del índice de calidad de agua ICA-NSF, el cual se consideró necesario en el proceso de la determinación de la oferta, demanda y vulnerabilidad del agua, demostrando así el estado actual de la calidad del agua.



El resultado final del estudio muestra la delimitación de las zonas de protección hídrica, separadas por la priorización que presenta, el área de mayor priorización asignada al número 9 en el mapa final comprende 16,65 ha siendo está muy pequeña a diferencia de los resultados obtenidos en la determinación de Ponce-Palugillo (Quito- Ecuador) que presentó un área de 4260,63 ha, ambos estudios fueron desarrollados bajo las mismas variables de oferta, demanda y vulnerabilidad, sin embargo la aplicación del índice ICA-NSF para la determinación de la calidad de agua es un complemento importante ya que nos da a conocer el estado actual de la calidad del río Caimatan.

#### 4.4 Resultados del muestreo

Los valores obtenidos en el laboratorio de Análisis de Calidad de Aguas de la Universidad de Cuenca se encuentran en el Anexo 7 y un resumen de estos valores se indican en las siguientes tablas 17-18-19.

Tabla 17. Resumen de los resultados de los análisis del laboratorio del primer monitoreo.

<b>Muestreo 1</b>				
<b>Parámetros</b>	<b>PUNTO 1</b>	<b>PUNTO 2</b>	<b>PUNTO 3</b>	<b>UNIDADES</b>
Porcentaje de Saturación	72,9	63,4	71,8	%sat.
Coliformes totales	4300	21000	21000	NMP/100ML
pH	7,1	7,15	7,6	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	4,96	16,03	6,9	mg/lt
$\Delta T$	4	3	4	C
Fosfatos totales	0,02	0,01	0,02	mg/lt
Nitratos	0,1	0,5	0,6	mg/lt
Turbiedad	2	10	52	NTU
Sólidos Totales	22,9	38,3	79	mg/lt

Fuente: Laboratorio de análisis de aguas de la Universidad de Cuenca.



Tabla 18. Resumen de los resultados de los análisis del laboratorio del segundo monitoreo.

<b>Muestreo 2</b>				
<b>Parámetros</b>	<b>PUNTO 1</b>	<b>PUNTO 2</b>	<b>PUNTO 3</b>	<b>UNIDADES</b>
Porcentaje de Saturación	81	80,5	81,5	%sat.
Coliformes totales	0	0	700	NMP/100ML
pH	6,03	6,6	7,42	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	6,76	4,88	6,44	mg/lt
$\Delta T$	4	4	4	C
Fosfatos totales	0,08	0,06	0,13	mg/lt
Nitratos	0,1	0	0,7	mg/lt
Turbiedad	1,44	0,97	8,13	NTU
Sólidos Totales	19,6	28,51	83,8	mg/lt

Fuente: Laboratorio de análisis de aguas de la Universidad de Cuenca.

Tabla 19. Resumen de los resultados de los análisis del laboratorio del tercer monitoreo.

<b>Muestreo 3</b>				
<b>Parámetros</b>	<b>PUNTO 1</b>	<b>PUNTO 2</b>	<b>PUNTO 3</b>	<b>UNIDADES</b>
Porcentaje de Saturación	80,5	72,5	76,7	%sat.
Coliformes totales	0	900	600	NMP/100ML
pH	7	7,53	7,8	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	3,58	26,23	15,38	mg/lt
$\Delta T$	4	4	4	C
Fosfatos totales	0,03	0,04	0,04	mg/lt
Nitratos	0,8	0,7	0,6	mg/lt
Turbiedad	0,78	1,02	2,01	NTU
Sólidos Totales	20,3	30,8	85,4	mg/lt

Fuente: Laboratorio de Análisis de aguas de la Universidad de Cuenca.



#### 4.5 Resultados del cálculo del ICA-NSF

A partir del cálculo del ICA-NSF mediante las ecuaciones 2-24 propuesta en la metodología, se corroboraron los datos por medio de la calculadora virtual oficial del ICA-NSF, se presentan los resultados obtenidos detallados en el Anexo 4. En la siguiente tabla se puede observar un breve resumen de los valores obtenidos del índice de ICA-NSF.

Tabla 20. Resumen de resultados del ICA-NSF.

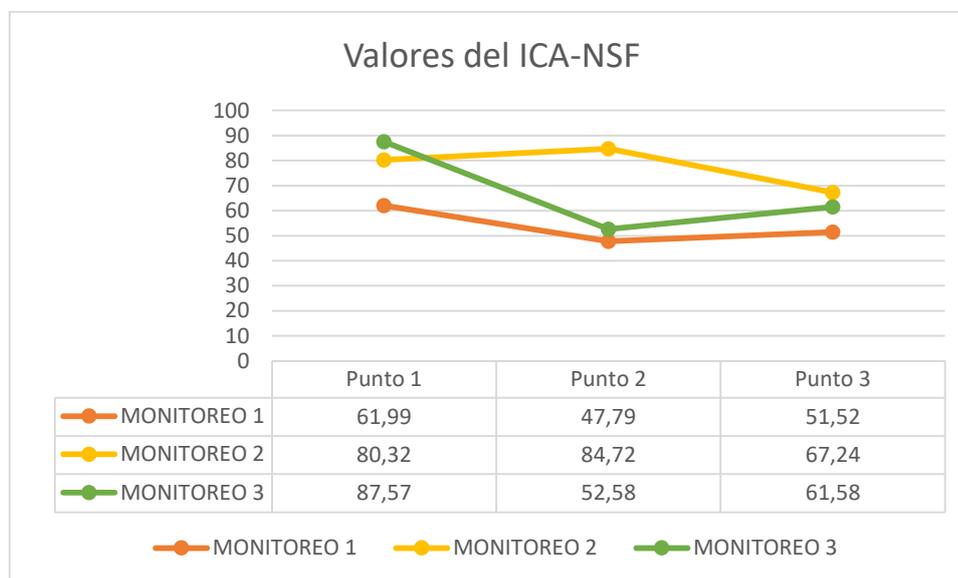
<b>Monitoreo 1</b>		<b>Valores del ICA-NSF</b>	<b>Calidad del agua</b>
Abril	<b>Punto 1</b>	61,99	Media
	<b>Punto 2</b>	47,79	Mala
	<b>Punto 3</b>	51,52	Media
<b>Monitoreo 2</b> Mayo	<b>Punto 1</b>	80,32	Buena
	<b>Punto 2</b>	84,72	Buena
	<b>Punto 3</b>	67,24	Media
<b>Monitoreo 3</b> Junio	<b>Punto 1</b>	87,57	Buena
	<b>Punto 2</b>	52,58	Media
	<b>Punto 3</b>	61,58	Media

Fuente: Autores

En la ilustración 16 se presenta una variación de los resultado obtenidos del índice de calidad de agua ICA-NSF durante todos los monitoreos, en el monitoreo 2 se obtuvo valores del ICA-NSF entre 51-90 pertenecientes a una calidad del agua entre buena y media, por lo que se asumió que durante la época lluviosa algunos de los parámetros subieron notablemente debido a que se encuentran influenciados por vertimientos de origen doméstico, agrícola y al arrastre que genera la corriente; durante la época seca el agua se mantuvo con una mejor calidad con respecto al anterior.

En varios de los puntos de los monitoreos predominó como resultado la calidad media, seguida de la buena y solo en el monitoreo 1 en el punto 2 se determinó una mala calidad, debido a un resultado alto de coliformes fecales y DBO5, siendo estos los factores más

influyentes; como efecto se obtuvo una valoración dentro de la categorización de mala calidad.



*Ilustración 16. Variación de las variables del ICA-NSF.*

A continuación se puede observar la variación de los factores más influyentes en los 3 monitoreos que son: coliformes fecales y DBO5; siendo estos generadores de la disminución del índice de calidad del agua ICA-NSF.

En el caso de los coliformes fecales se considera que son el resultado de descargas directas de aguas residuales domésticas de los moradores cercanos a la zona de estudio y de las zonas de ganadería, en el tercer punto de todos los monitoreos se observó valores elevados de este parámetro el cual tiene más intervención de la población de San Antonio, también se encuentra cercano a la carretera principal; sin embargo en el punto 1 de todos los monitoreos no presenta tanta intervención por su complejo acceso y mostró valores bajos con respecto a los otros puntos (Ilustración 17).

Los Coliformes fecales son indicadores de contaminación por heces fecales tanto de animales como de personas, pudiendo ser causantes de enfermedades a los moradores que utilizan el agua para sus hogares.

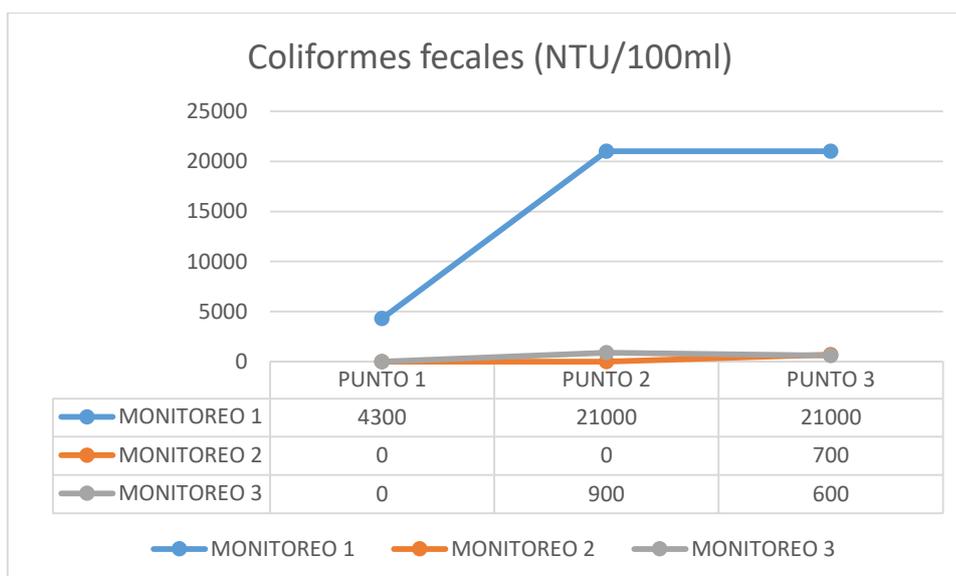


Ilustración 17. Variación de los Coliformes fecales obtenidos en los 3 monitoreos.

El DBO5 presentó niveles críticos en todos los puntos de muestreo durante todas las campañas, a su vez este parámetro tuvo una variación muy significativa durante los tres monitoreos como se puede observar en la ilustración 18; estas concentraciones son resultados de una disminución importante en el oxígeno disuelto, el cual podría provocar problemas para el desarrollo normal de la vida acuática.

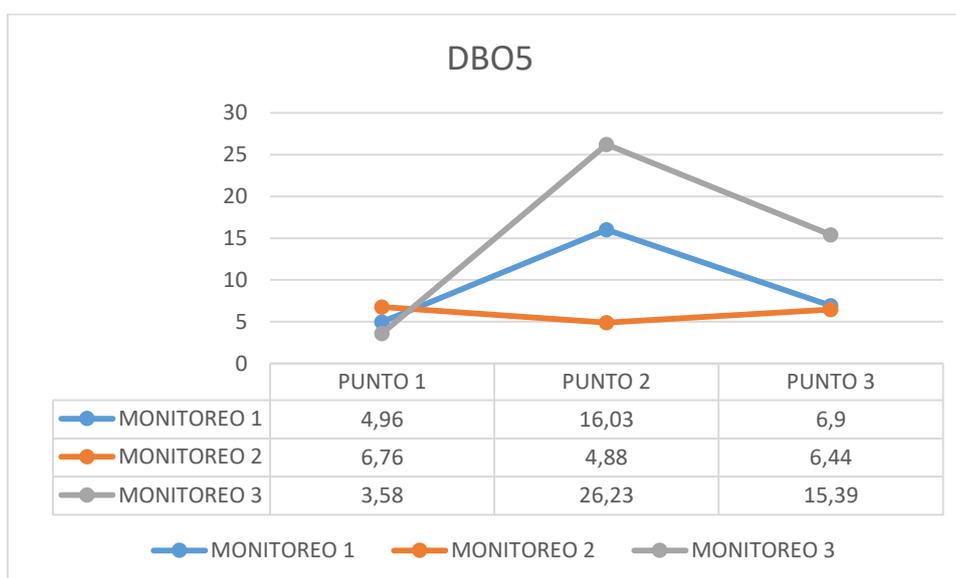


Ilustración 18. Variación de los DBO5 en las campañas.

El Oxígeno no obtuvo mucha variación, sin embargo en el monitoreo 2 del punto 2 presentó una valoración baja de 63,4 % Saturación correspondiente a la época lluviosa.



Este parámetro influencia de forma directa en la calidad media del agua, debido que para presentar una calificación de buena calidad, el oxígeno deberá obtener un valor mayor al 80% de saturación.

En el caso del pH fluctuó entre 6,03 - 7, 8 encontrándose dentro del rango considerado como aceptable (6-9), sin embargo los valores obtenidos demostraron que ha variado durante la época seca y lluviosa.

Los fosfatos y nitratos presentaron variaciones durante todos los monitoreos sin embargo no se obtuvo valores tan altos que generan alteraciones en la calidad del agua.

Con respecto a la turbiedad se obtuvo que solo en el monitoreo 1 en el punto 3 tuvo un valor muy alto de 52 NTU evidenciándose el aumento de sus valores durante la época lluviosa.

Los sólidos totales registrados presentaron una variación, sin embargo en el punto 3 de todos los monitoreos fue donde más valores altos se obtuvieron.

En el Anexo 5 se presenta las tablas de variaciones de los parámetros mencionados anteriormente.

Los valores obtenidos en el índice de calidad de agua ICA-NSF demuestran que existe una variación de la calidad del agua, presentando una tendencia decreciente al inicio del río Caimatan con respecto al punto donde termina el río, debido a diferentes factores antropogénicos de la zona. En la tabla 20 se puede observar los valores de los índices y su clasificación correspondiente del río, la mayoría de puntos mostraron tener una calificación dentro del rango de buena y media; siendo ligeramente y moderadamente contaminadas, sin embargo en el punto 2 perteneciente al monitoreo del mes de abril, se encontró en el rango de mala calidad; la cual se obtuvo un resultado alto de coliformes fecales de 21000 NMP/100ml, turbiedad de 10 NTU y el DBO de 16,03 mg/lit generando así una disminución en el subtotal.

En términos generales la calidad de agua del río Caimatan es categorizada como media, el comportamiento de cada parámetro dependerá de las variaciones de factores ambientales, viéndose así reflejados en los resultados obtenidos del ICA-NSF. Esta variación de la categorización es resultado de la intervención de los moradores aledaños a la zona.



Comparando los resultados obtenidos en estudios previos como el realizado por Effendi, Romanto y Wardiatno (2015) se observa que también tienen una variación de la calidad del agua en diferentes puntos, en el cual presentó una diferencia en la zona alta y baja del río Ciambulawun, sin embargo obtuvieron resultados similares de los parámetros de DBO5 y OD, esto puede deberse probablemente a la descomposición de materia orgánica en forma de hojas, troncos, etc., que consume mucho oxígeno, siendo causantes de la disminución del subtotal del índice, según el índice de calidad ICA-NSF la calidad del agua en el río Ciambulawun se encontró dentro de la categorización de media.

#### 4.6 Resultados de los caudales del río Caimatan

El caudal es considerado importante en los ríos de alta montaña, los datos demuestran que existe un aumento del caudal durante la primera campaña y en la tercera campaña presentó caudales más bajos, mostrando así la existencia de los caudales altos en la época lluviosa del mes de abril y caudales bajos en el mes de junio.

Tabla 21. Resultados de los caudales del río Caimatan.

Puntos de monitoreo	Abril	Mayo	Junio
Punto 1	144,23 l/s	120,27 l/s	81,25 l/s
Punto 2	480,17 l/s	320,32 l/s	240,56 l/s
Punto 3	15000,24 l/s	8642,14 l/s	2100,67 l/s

Fuente: Autores

Los valores de los caudales más altos que se registraron, fueron en el mes de abril obteniendo un pico de 15000,24 l/s en el punto 3, mientras que el tercer monitoreo durante el mes de junio presentó el valor más bajo de caudales de 81,25 l/s en el punto 1 aguas arriba.

En la ilustración 19 es notorio la variación de los caudales que se obtuvo a lo largo de los 3 meses en los que fueron medidos; mediante estos resultados se puede evidenciar que los caudales tienden a bajar de tal manera que influyen en el índice de calidad de agua ICA-NSF.

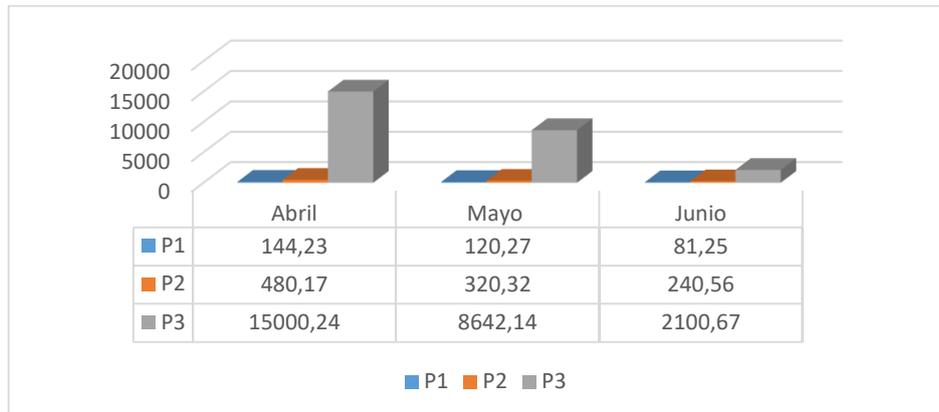


Ilustración 19. Variación de los caudales del río Caimatan.

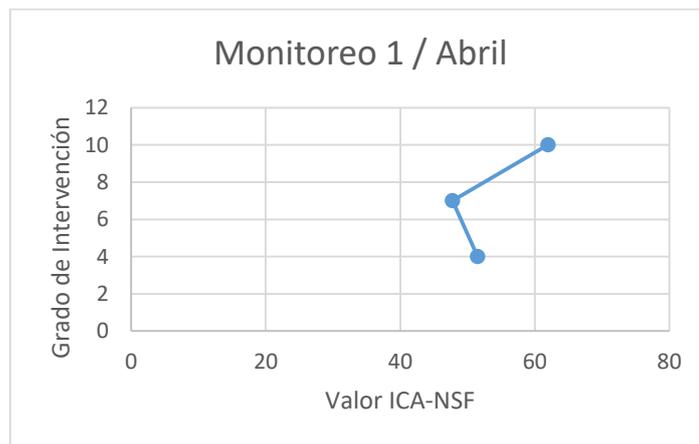
Durante la primera campaña en el mes de abril en el cual se obtuvo los caudales más altos en comparación a los demás, presentaron que tienden a tener concentraciones altas en algunos parámetros como DBO5, % Saturación, turbiedad y coliformes fecales, de tal manera que generó una menor calificación entre media y mala, sin embargo en el mes de mayo presentó caudales medios y en el mes de junio caudales bajos que obtuvieron la mejor calificación entre buena y media del índice de calidad de agua.

#### 4.7 Relación Índice ICA-NSF y uso actual del suelo

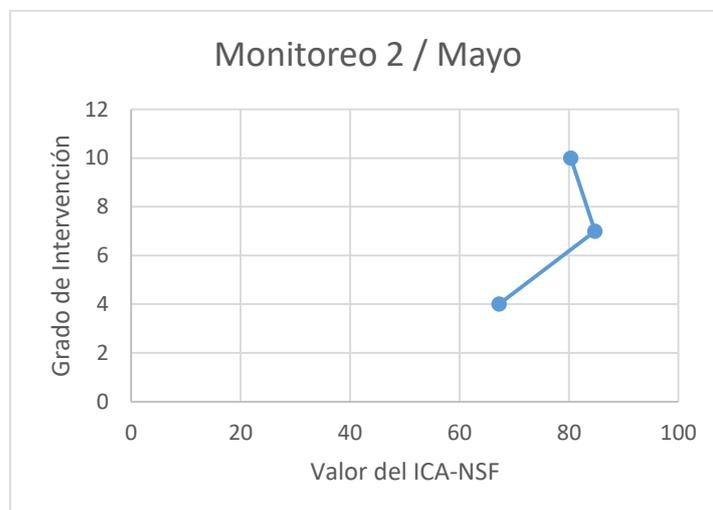
La relación entre el uso actual del suelo y el índice de calidad de agua ICA-NSF se realizó mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson, en base a los puntos de monitoreo correspondientes a cada mes con sus valores obtenidos del índice de calidad de agua y la valorización asignada a cada categoría del uso actual del suelo que presenta una calificación con respecto a un rango del 1-10; siendo 1 mayor grado de intervención y 10 menor grado. En el caso del punto 1 aguas arriba corresponde a Bosque con una valorización de 10, el punto 2 a Vegetación Arbustiva y Herbácea con una valorización de 7 y el punto 3 a tierras agropecuarias con una valorización de 4, el presente análisis se realizó en base a la escala de priorización ejecutada en la metodología de la evaluación del uso actual de suelo.



Como resultado se obtuvo que el coeficiente de correlación entre estas variables es de 0,71 presentando que la relación es positiva, siendo así que el índice de calidad del agua ICA-NSF y uso actual del suelo se correlaciona en un sentido directo.



*Ilustración 20. Correlación de Pearson en el mes de abril.*



*Ilustración 21. Correlación de Pearson en el mes mayo.*

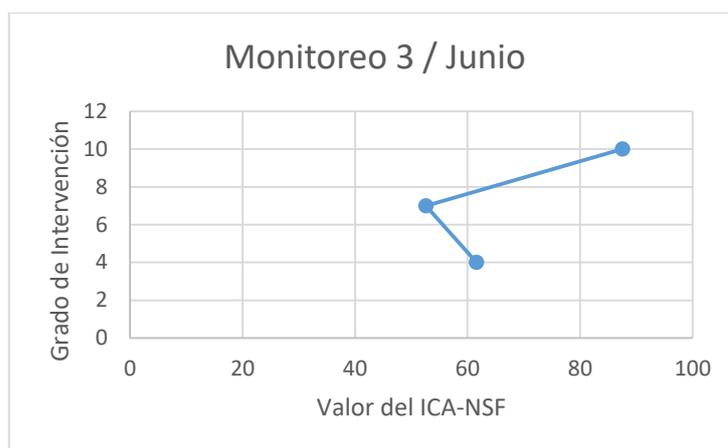


Ilustración 22. Correlación de Pearson en el mes de junio.

#### 4.8 Resultado del cumplimiento de la normativa

Se tomó como priorización el uso del agua para consumo humano, ya que existen autorizaciones dentro de la zona de estudio que confirman este uso por parte de los moradores, siendo así priorizada con respecto a las demás, mediante una verificación de los parámetros determinados en el muestreo se realizó una comparación con la normativa de los límites máximos permisibles establecidos en el Anexo 1 del libro VI del TULSMA: tabla 2 “Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran desinfección”. Cabe mencionar que de los nueve parámetros que establece el ICA-NSF solo se comparó siete, ya que solo estos se establecen dentro de la normativa de aguas para consumo humano, y son: temperatura, oxígeno disuelto, turbiedad, pH, nitratos, DBO5, Coliformes fecales.

En la tabla 22 se puede observar los datos del primer muestreo remarcados con rojo los valores que incumplen con la normativa, en este caso en los tres puntos del primer muestreo se obtuvieron los siguientes valores que incumplen con los límites máximos permisibles, y son: oxígeno disuelto, DBO5 y coliformes fecales.

La tabla 23 perteneciente al segundo muestreo indica los datos que no cumplen con la normativa los cuales son: DBO5 en el punto 1, 2 y 3; en cuanto al punto 3 también se obtuvo incumplimiento de coliformes fecales.

En la tabla 24 correspondiente al último muestreo que se realizó se obtuvieron los siguientes parámetros que no cumplen con la normativa, siendo los siguientes: en el punto 1 de muestreo el parámetro del DBO5, sin embargo en el punto 2 y 3 también incumplen con: DBO5, oxígeno disuelto y coliformes fecales.



Tabla 22. Verificación del cumplimiento de los parámetros con la normativa en el primer monitoreo.

Muestreo 1				
PUNTO 1				
Parámetros	Unidades	límite máximo permisible	Valor registrado	Cumplimiento
Temperatura	°C	Condición natural + o -3	4	Cumple
Porcentaje de Saturación	% saturación	≥80	72,9	No cumple
Turbiedad	NTU	10	2	Cumple
Potencial de Hidrógeno		6 a 9	7,1	Cumple
N.Nitratos	mg/l	10	0,1	Cumple
DBO5	mg/l	2	4,96	No cumple
Coliformes Fecales	NMP/100ml	100	4300	No cumple
PUNTO 2				
Parámetros	Unidades	límite máximo permisible	Valor registrado	Cumplimiento
Temperatura	°C	Condición natural + o -3	3	Cumple
Porcentaje de Saturación	% saturación	≥80	63,4	No cumple
Turbiedad	NTU	10	10	Cumple
Potencial de Hidrógeno		6 a 9	7,15	Cumple
N.Nitratos	mg/l	10	0,5	Cumple
DBO5	mg/l	2	16,03	No cumple
Coliformes Fecales	NMP/100ml	100	21000	No cumple
PUNTO 3				
Parámetros	Unidades	límite máximo permisible	Valor registrado	Cumplimiento
Temperatura	°C	Condición natural + o -3	4	Cumple
Porcentaje de Saturación	% saturación	≥80	71,8	No cumple
Turbiedad	NTU	10	52	No Cumple
Potencial de Hidrógeno		6 a 9	7,6	Cumple
N.Nitratos	mg/l	10	0,6	Cumple
DBO5	mg/l	2	6,9	No cumple
Coliformes Fecales	NMP/100ml	100	21000	No cumple

Fuente: TULSMA, Laboratorio de análisis de aguas de la Universidad de Cuenca.



Tabla 23. Verificación del cumplimiento de los parámetros con la normativa en el segundo monitoreo.

Muestreo 2				
PUNTO 1				
Parámetros	Unidades	límite máximo permisible	Valor registrado	Cumplimiento
Temperatura	°C	Condición natural + o -3	4	Cumple
Porcentaje de Saturación	% saturación	≥80	81	Cumple
Turbiedad	NTU	10	1,44	Cumple
Potencial de Hidrógeno		6 a 9	6,03	Cumple
N.Nitratos	mg/l	10	0,1	Cumple
DBO5	mg/l	2	6,76	No cumple
Coliformes Fecales	NMP/100ml	100	0	Cumple
PUNTO 2				
Parámetros	Unidades	límite máximo permisible	Valor registrado	Cumplimiento
Temperatura	°C	Condición natural + o -3	4	Cumple
Porcentaje de Saturación	% saturación	≥80	80,5	Cumple
Turbiedad	NTU	10	0,97	Cumple
Potencial de Hidrógeno		6 a 9	6,6	Cumple
N.Nitratos	mg/l	10	0	Cumple
DBO5	mg/l	2	4,88	No cumple
Coliformes Fecales	NMP/100ml	100	0	Cumple
PUNTO 3				
Parámetros	Unidades	límite máximo permisible	Valor registrado	Cumplimiento
Temperatura	°C	Condición natural + o -3	4	Cumple
Porcentaje de Saturación	% saturación	≥80	81,5	Cumple
Turbiedad	NTU	10	8,13	Cumple
Potencial de Hidrógeno		6 a 9	7,42	Cumple
N.Nitratos	mg/l	10	0,7	Cumple
DBO5	mg/l	2	6,44	No cumple
Coliformes Fecales	NMP/100ml	100	700	No cumple

Fuente: TULSMA, Laboratorio de análisis de aguas de la Universidad de Cuenca.



Tabla 24. Verificación del cumplimiento de los parámetros con la normativa en el tercer monitoreo.

Muestreo 3				
PUNTO 1				
Parámetros	Unidades	límite máximo permisible	Valor registrado	Cumplimiento
Temperatura	°C	Condición natural + o -3	4	Cumple
Porcentaje de Saturación	% saturación	≥80	80,5	Cumple
Turbiedad	NTU	10	0,78	Cumple
Potencial de Hidrógeno		6 a 9	7	Cumple
N.Nitratos	mg/l	10	0,8	Cumple
DBO5	mg/l	2	3,58	No cumple
Coliformes Fecales	NMP/100ml	100	0	Cumple
PUNTO 2				
Parámetros	Unidades	límite máximo permisible	Valor registrado	Cumplimiento
Temperatura	°C	Condición natural + o -3	4	Cumple
Porcentaje de Saturación	% saturación	≥80	72,5	No cumple
Turbiedad	NTU	10	1,02	Cumple
Potencial de Hidrógeno		6 a 9	7,53	Cumple
N.Nitratos	mg/l	10	0,7	Cumple
DBO5	mg/l	2	26,23	No cumple
Coliformes Fecales	NMP/100ml	100	900	No cumple
PUNTO 3				
Parámetros	Unidades	límite máximo permisible	Valor registrado	Cumplimiento
Temperatura	°C	Condición natural + o -3	4	Cumple
Porcentaje de Saturación	% saturación	≥80	76,7	No cumple
Turbiedad	NTU	10	2,01	Cumple
Potencial de Hidrógeno		6 a 9	7,8	Cumple
N.Nitratos	mg/l	10	0,6	Cumple
DBO5	mg/l	2	15,38	No cumple
Coliformes Fecales	NMP/100ml	100	600	No cumple

Fuente: TULSMA, Laboratorio de análisis de aguas de la Universidad de Cuenca.



## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- ❖ La microcuenca del río Caimatan presenta gran influencia por parte de los moradores de la comunidad Corazón de la parroquia de San Antonio, debido a que los pobladores de la comunidad dependen de esta para sus cultivos, fines agropecuarios y consumo. De tal manera que se puede concluir que el uso del suelo genera una alteración en la oferta de agua, demanda, vulnerabilidad y en la calidad de agua de la microcuenca; viéndose así mismo afectado las zonas determinadas como áreas de protección hídrica por el avance de la frontera agrícola.
- ❖ La categorización del uso actual de suelo proporcionó una perspectiva real y precisa de la situación en la que se encuentra la zona de estudio y las actividades desempeñadas dentro del mismo, como consecuencia de lo expuesto este aspecto es de alta importancia, debido a que se relaciona con el ámbito social involucrando a las comunidades durante el proceso para la categorización, además de estar sujeto al proceso de la evaluación del uso de tierra y la determinación de Áreas de Protección Hídrica (APH).
- ❖ Dentro de las áreas de protección hídrica se identificó que gran parte de la zona 9 catalogada de mayor prioridad se encuentra en un territorio asociado con una alta oferta incluyendo zonas de mayor cobertura vegetal, precipitaciones altas, bajas temperaturas, sin embargo los puntos de alta demanda de agua y sitios de alta vulnerabilidad están distribuidos tanto en la parte alta y baja de la zona de estudio, debido a estas variables concluimos que no se debe restar importancia a ningún área identificada como de mayor prioridad independientemente de su ubicación ya que son vulnerables a cualquier tipo de alteración o destrucción del ecosistema por parte de la mano del hombre.



- ❖ Frente a los resultados obtenidos de los nueve parámetros analizados en el índice de calidad del agua pudimos corroborar que los índices siempre están relacionados con el área en la que está influenciando el cuerpo de agua, de tal manera que las actividades desarrolladas a su alrededor y el uso por parte de la población, generan alteraciones en el medio, a través de las variables físicas, química y biológicas en las cuales se vieron reflejado el estado de la microcuenca del río Caimatan.
  
- ❖ Las condiciones de calidad del agua del río Caimatan fueron evaluadas mediante la aplicación del Índice de Calidad de Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos de Norteamérica (ICA-NSF), en el cual presentó que en varios de los puntos de muestreo predominó la clasificación de calidad de agua media con una puntuación dentro del rango de 51-70, es importante mencionar que en el segundo monitoreo se obtuvo una calidad media y buena siendo estos los valores más altos durante los monitoreos; de esta manera los parámetros que influenciaron en los valores del índice fueron: DBO5, % Saturación y coliformes fecales otorgando una calificación baja del índice.
  
- ❖ La calidad del agua y los caudales medidos presentaron una relación durante las diferentes épocas, se observó una leve tendencia a la disminución de la calidad del agua en la época lluviosa en la cual presentó caudales altos y valores altos de los parámetros de oxígeno disuelto, coliformes fecales y DBO5, mientras que en la época seca aumento la calidad del agua y la concentración de dichos parámetros disminuyó, como consecuencia de lo expuesto dichos parámetros que presentaron valores altos también presentaron incumplimiento con la normativa ambiental de los límites máximos permisibles establecidos en el Anexo 1 del libro VI del TULSMA durante todos los monitoreos.

## 5.2 Recomendaciones

- ❖ El presente estudio es un aporte significativo para estudios posteriores, comunidades que requieran proteger de alguna manera sus fuentes de agua e instituciones que deseen participar para la protección de las mismas, debido a que en Ecuador no se dispone de muchos estudios relacionados con el tema.



- ❖ Ante la problemática del cambio climático que vivimos actualmente se recomienda relacionar futuros estudios similares con una línea de estudio dirigida hacia este fenómeno, con el fin de conocer y establecer los efectos que presenta el cambio climático sobre las variables de oferta, demanda y vulnerabilidad del agua.
  
- ❖ Al verse involucradas varias comunidades y territorios privados se recomienda contar con un catastro rural de la zona ya que éste va a ser de gran importancia para los acuerdos que se realicen entre la población y las autoridades competentes como: SENAGUA, GAD parroquial, Consejo de la cuenca del río Cañar y SNAP que requieran designar las áreas de protección hídrica.
  
- ❖ Se recomienda tomar medidas de protección de remanentes de páramos, bosques y matorrales; para regular la cantidad y calidad del agua por medio de la reducción de la deforestación, actividad ganadera y los cultivos existentes en las zonas de interés hídrico. Restauración de la cobertura vegetal a través de plantaciones forestales arbustivas que aceleren la recuperación mediante especies nativas y recuperación de franjas ribereñas que actúa como un corredor biológico y filtro en la retención de sedimentos, residuos de pesticidas y fertilizantes que descienden por las laderas y revegetación en zonas degradadas para controlar la erosión, pérdida de suelo por medio de plantaciones forestales y arbustivas de especies nativas
  
- ❖ Es indispensable realizar charlas de preservación y conservación del recurso hídrico con los habitantes de la parroquia San Antonio para así contribuir al cuidado de la zona, también se puede realizar campañas de educación ambiental en las escuelas y con los presidentes de las comunidades.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albert, L., Rottensteiner, F., & Heipke, C. (2017). A higher order conditional random field model for simultaneous classification of land cover and land use. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130, 63–80. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.04.006>
- Antonio, J., Aguilar, P., Campo, J., Nebot, S., & Gimeno-garcía, E. (2019). Analysis of existing water information for the applicability of water quality indices in the fluvial-littoral area of turia and Jucar Rivers , valencia , Spain. *Applied Geography*, 111(December 2018), 102062. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.102062>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2016). Ley de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo. *Electronica*. Recuperado de: <http://www.eltelegrafo.com.ec/images/cms/DocumentosPDF/2016/Proyecto-de-ley-Ordenamiento-territorial-y-uso-gestion-del-suelo.pdf>
- Astel, A., Biziuk, M., Przyjazny, A., Namiesnik, J., 2006. Chemometrics in monitoring spatial and temporal variations in drinking water quality. *Agua Res.* 40, 1706–1716. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.02.018>.
- Baguma, D., Loiskandl, W., & Jung, H. (2010). Water Management, Rainwater Harvesting and Predictive Variables in Rural Households. *Water Resources Management*.
- Baquero, F., Sierra, R., Ordoñez, L., Tipán, M., Espinosa, L., Rivera, M. B., & Soria, P. (2004). *La vegetación de los Andes del Ecuador. [The vegetation of the Andes of Ecuador]*.
- Barboza, E., Salas, R., Mendoza, M., Oliva, M., & Corroto, F. (2018). Uso actual del suelo y calidad hidrogeomorfológica del río San Antonio: alternativas para la restauración fluvial en el Norte de Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 20(2), 203–214. <https://doi.org/10.18271/ria.2018.364>
- Barros López, J. G., & Troncoso Salgado, A. Y. (2010). Atlas climatológico del Ecuador. Recuperado de: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1720>
- Brown, R., McClelland, N., Deininger, R., & Tozer, R. (1970). A Water Quality Index—Do We Dare, (Presentado en: National Symposium on Data and Instrumentation



- for Water Quality Management, (Julio 1970), 364–383.
- Belay, T., & Ayalew, D. (2019). Land use and land cover dynamics and drivers in the Muga watershed , Upper Blue Nile basin , Ethiopia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 15(February), 100249. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100249>
- Brombal, D., Niu, Y., Pizzol, L., Moriggi, A., Wang, J., Critto, A., ... Marcomini, A. (2018). A participatory sustainability assessment for integrated watershed management in urban China. *Environmental Science and Policy*, 85(March), 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.03.020>
- Buytaert, W., Iñiguez, V., & Bièvre, B. De. (2007). The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. *Forest Ecology and Management*, 251(1–2), 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.035>
- CEPAL. (2010). DIAGNÓSTICO DE LA INFORMACIÓN ESTADÍSTICA DEL AGUA 1 ECUADOR-CEPAL: Diagnóstico de la Estadística del Agua en Ecuador, 81. Recuperado de: [http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico de las Estadísticas del Agua Producto IIIc 2012-2.pdf](http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20IIIc%202012-2.pdf)
- Clerici, N., Cote-Navarro, F., Escobedo, F. J., Rubiano, K., & Villegas, J. C. (2019). Spatio-temporal and cumulative effects of land use-land cover and climate change on two ecosystem services in the Colombian Andes. *Science of The Total Environment*, 685, 1181–1192. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.275>
- Conesa Fdez-Vitora, V., 1995. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. 2nd ed. Mundo Prensa, Madrid. 390.
- Cuadrat, J.M. 1995. Climatología. In López Bermúdez, J.; Rubio, J. y Cuadrat, J.M., Geografía física. Murcia, pp: 231-422.
- Curvetto, R. O. et al., Análisis de frecuencia y probabilidad de crecidas para los río Negro y Colorado, Universidad Nacional del Sur, 1970, p. 322.
- Difrieri, H., Historia del río Atuel. Gobierno de la provincia de La Pampa, Buenos Aires, 1979; id., Geología en los ámbitos fluvial atlántico. Historia marítima argentina, Buenos Aires, Cuántica, 1981, pp. 53-71.
- ETAPA EP, 2012c. Informe del monitoreo de la circulación vehicular por la vía Cuenca Molleturo-El Empalme sobre los recursos hídricos del Parque Nacional Cajas. Programa de Monitoreo y vigilancia de los recursos hídricos y de clima.



- Ezcurra, C., & Gavini, S. (2019). Alpine Plant Diversity in Temperate Mountains of South America. *Earth Systems and Environmental Sciences*, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11906-2>
- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial, 11(*Química viva*), 147–170.
- Ferrer, A., & Torrero. (2015). MANEJO INTEGRADO DE CUENCAS HÍDRICAS. *Boletín Mexicano de Derecho Comparado*, 48(143), 615–643. <https://doi.org/10.22201/ijj.24484873e.2015.143.4941>
- Fitton, N., Alexander, P., Arnell, N., Bajzelj, B., Calvin, K., Doelman, J., ... Smith, P. (2019). The vulnerabilities of agricultural land and food production to future water scarcity. *Global Environmental Change*, 58(July), 101944. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.101944>
- Gamarra Torres, Ó. A. (2018). Calidad del bosque de ribera en la cuenca del río Utcubamba, Amazonas, Perú. *Arnaldoa*, 25(2). <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.252.25218>
- Ghio, M., "Les activités humaines augmentent-elles les crues?", *Ann. Géol.* núm. 1, 1995, pp. 23-33; Mussot, R. y Bénech, C., "L'influence des interventions humaines sur l'écoulement des eaux et sur les transp. solides. L'exemple des Pyrénées-Orientales (France)", *Ann. Géol.* núms. 581 y 582, 1995, pp. 105-118.
- Grizzetti, B., Lanzanova, D., Liqueste, C., Reynaud, A., & Cardoso, A. C. (2016). Assessing water ecosystem services for water resource management. *Environmental Science and Policy*, 61, 194–203. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.04.008>
- González R., L. F., Lozano O., L. A., & Páramo G., A. (2004). Manejo y conservación de la microcuenca Quebrada La vieja, Cerros Orientales de Bogotá. *Umbral Científico*, (4). Recuperado de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=30400411>
- Hernández, J., & Vieyra, A. (2010). Riesgo por inundaciones en asentamientos precarios del periurbano. Morelia, una ciudad media mexicana. ¿El desastre nace o se hace? *Revista de geografía Norte Grande*, (47), 45–62. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022010000300003>
- Heyer, L., Ramos, O. G., de la Garza, F. R., Rivera, P., & Castro, B. I. (2008). Calidad del agua y salud pública en la zona centro de Tamaulipas. *CienciaUAT*, 2(4).
- Hofstede, R. G., & Llambí, L. D. (2019). Plant Diversity in Páramo—Neotropical High Mountain Humid Grasslands. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, . <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.11858-5>
- Hofstede, R. (2004). Health state of Páramos: an effort to correlate science and practice.



- Lyonia a Journal of Ecology and Application*, 6(1), 61–73. Recuperado de: [http://www.lyonia.org/articles/rbusmann/article\\_266/pdf/article.pdf](http://www.lyonia.org/articles/rbusmann/article_266/pdf/article.pdf)
- INAMHI, (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). (2017). *Anuario meteorológico № 53-2013*.
- INIGEMM (Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico del Ecuador) (2015). Proyecto Evaluación de la Disponibilidad de Recursos Minerales del Territorio Ecuatoriano.
- Jha, R., Bhatia, K. K. S., Singh, V. P., & OJIMP, C. S. P. (2005). *Surface Water Pollution*. *Water Encyclopedia* (3rd ed.). Elsevier Inc. Recuperado de: <https://doi.org/10.1002/047147844x.sw1026>
- Jia, F., Hubbard, M., Zhang, T., & Chen, L. (2019). Water stewardship in agricultural supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 235, 1170–1188. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.006>
- Jiménez Trujillo, J. A. (2007). Diseño de sistemas de producción ganaderos sostenibles con base a los sistemas silvopastoriles (SSP) para mejorar la producción animal y lograr la sostenibilidad ambiental. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba-Costa Rica. Recuperado de [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4751/Diseno\\_de\\_sistemas\\_de\\_Produccion.pdf;jsessionid=A002EF432C1B791A77DFBF510FBC597B?sequence=](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4751/Diseno_de_sistemas_de_Produccion.pdf;jsessionid=A002EF432C1B791A77DFBF510FBC597B?sequence=)
- John, V., Jain, P., Rahate, M., Labhasetwar, P., 2014. Assessment of deterioration in water quality from source to household storage in semi-urban settings of developing countries. *Environ. Monit. Assess.* 186, 725–734. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3412-z>.
- Kazi, T.G., Arain, M.B., Jamali, M.K., Jalbani, N., Afridi, H.I., Sarfraz, R.A., et al., 2009. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: a case study. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 72, 301–309. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.02.024>
- Katyal, D., 2011. Water quality indices used for surface water vulnerability assessment. *Int. J. Environ. Sci.* 2 (1), 154–173
- Koleff, P., M. Tambutti, I.J. March, R. Esquivel, C. Cantú, A. Lira-Noriega et al. 2009. Identificación de prioridades y análisis de vacíos y omisiones en la conservación de la biodiversidad de México, en *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, pp. 651-718.



- Mihelcic, J. R., & Zimmerman, J. B. (2011). Ingeniería ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño. Alfaomega.
- Palacios, W., & Freire, E. (2015). *Plantas de los Páramos del Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador*.
- Pesce, S.F., Wunderlin, D.A., 2000. Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba city (Argentina) on Suquía river. *Water Res.* 34, 2915–2926. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00036-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00036-1)
- Pérez, B., & Álvarez, M. (2018). Índice de calidad del agua según NSF del humedal laguna Los Milagros (Tingo María, Perú). *INDES Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable*, 2(2), 98–107. <https://doi.org/10.25127/indes.201402.010>
- Pourrut, P., Gomez, G., Bermeo, A., & Segovia, A. (1995). *El Agua en el Ecuador. Los nuevos contaminantes del agua*. Retrieved from <http://agua-ecuador.blogspot.com/>
- SENAGUA. (2017). Guía Técnica para la Delimitación de áreas de Protección Hídrica.
- Sierra-Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico* (1a ed). Medellín s.l: Ediciones de la U.
- Simeonov, V., Stratis, J.A., Samara, C., Zachariadis, G., Voutsas, D., Sofoniou, A.A.M., et al., 2003. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. *Water Res.* 37, 4119–4124. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00398-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00398-1)
- Soldano, F. A., Régimen y aprovechamiento de la red fluvial argentina, parte I. El río Paraná y sus tributarios, Buenos Aires, Cimera, 1947.
- Subramani, T., Elango, L., Srinivasalu, S., Marikio, T., 2005. Geological setting and ground-water chemistry in Chithar River basin, Tamil Nadu, India. *Indian Mineral.* 39, 108–119.
- Teichert, N., Borja, A., Chust, G., Uriarte, A., & Lepage, M. (2016). Restoring fish ecological quality in estuaries: Implication of interactive and cumulative effects among anthropogenic stressors. *Science of the Total Environment*, 542, 383–393. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.068>
- Torres, P., Hernán, C., & Patiño, P. (2009). Índices de Calidad de Agua en fuentes superficiales utilizado en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica., 150.
- Tossini, L., “Sistema hidrográfico y cuenca del río de la Plata. Contribución al estudio del régimen hidrológico”, *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, Buenos Aires, 1959, vol. 167, 3-4, pp. 41-61.
- TULAS. (2011). Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes : Recurso Agua.



*TULAS Texto Unificado de Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente,*  
8–9.

TULSMA. (2011). Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del  
Ambiente. Quito.

Vargas de Mayo, C. (1983). Métodos simplificados de análisis microbiológicos.  
Coliforme Fecal. Determinación del número más probable de coliforme fecal por la  
técnica de los tubos múltiples, 25–32

## ANEXOS

### Anexo 1. Mapas complementarios a la oferta, demanda y vulnerabilidad.

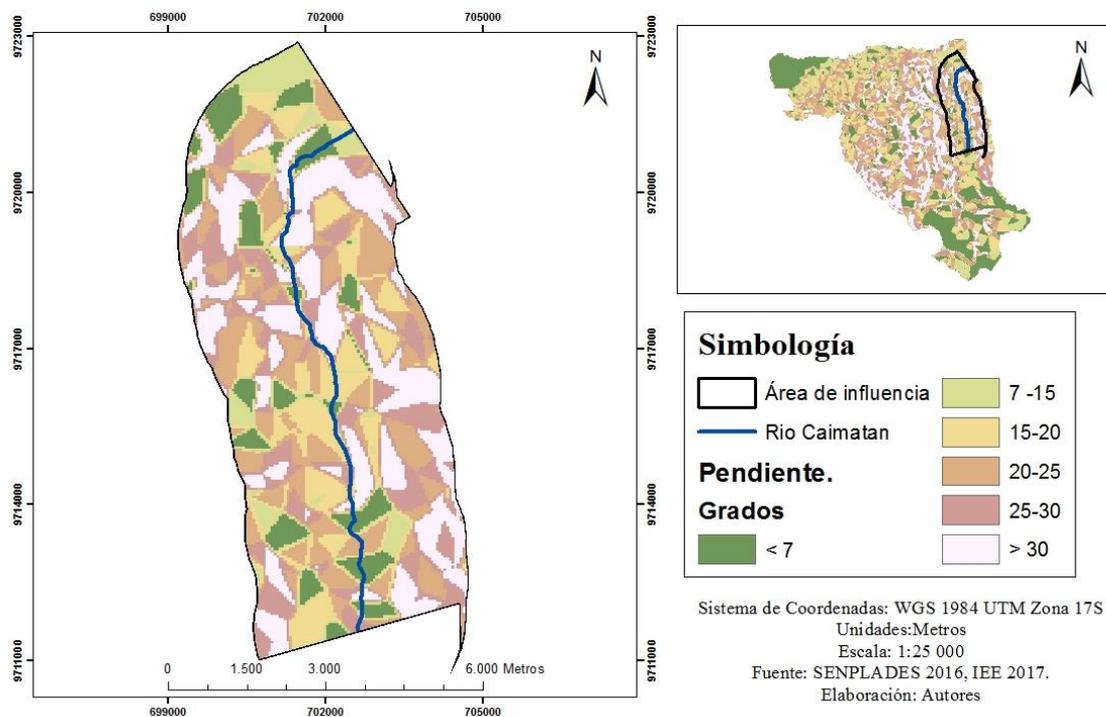


Ilustración 23. Mapa de pendiente del terreno.

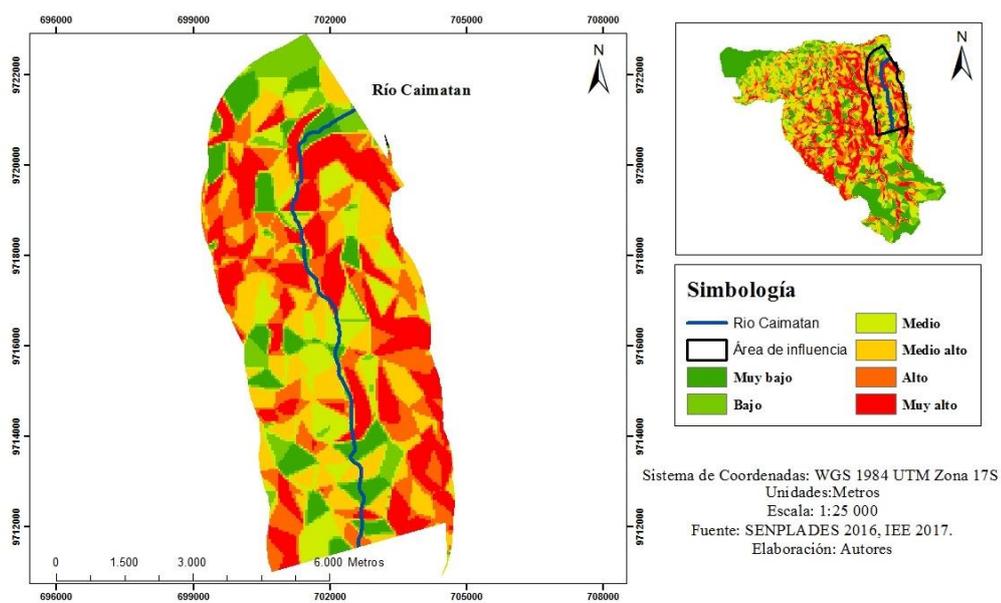


Ilustración 24. Mapa de riesgo de erosión según la pendiente.

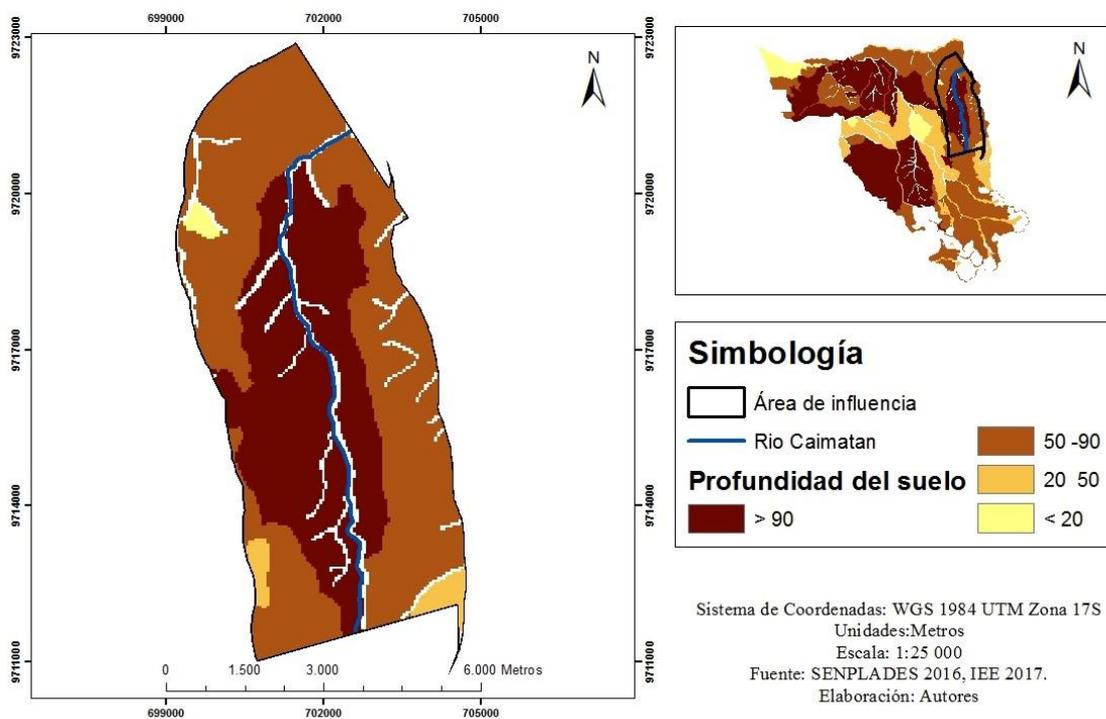


Ilustración 25. Mapa de Profundidad del terreno.

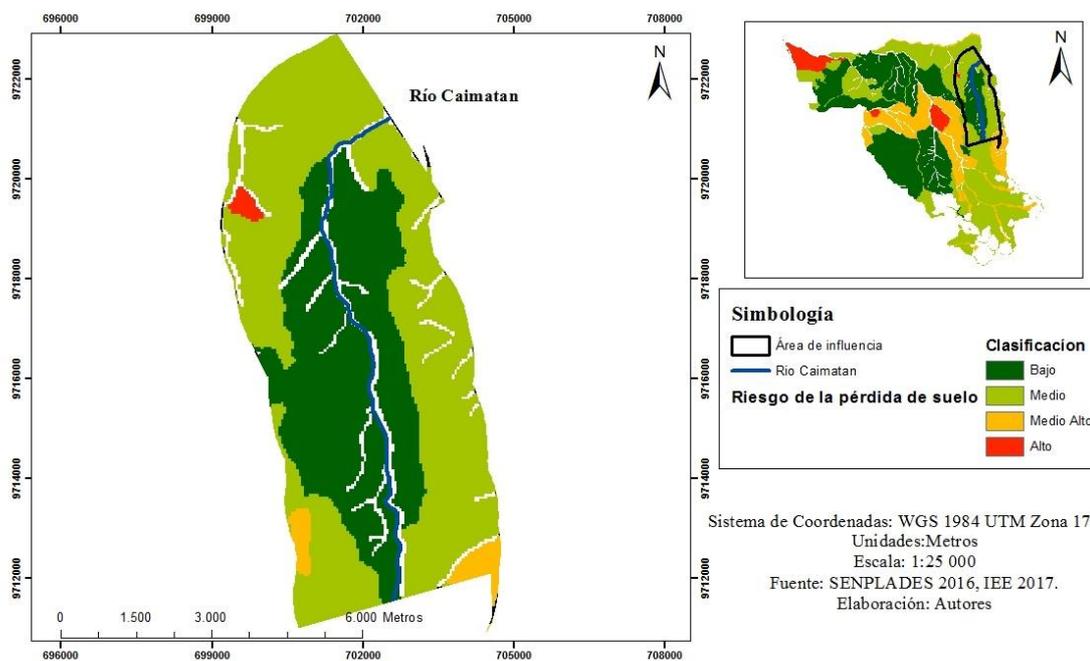


Ilustración 26. Mapa de riesgo de pérdida de suelo.

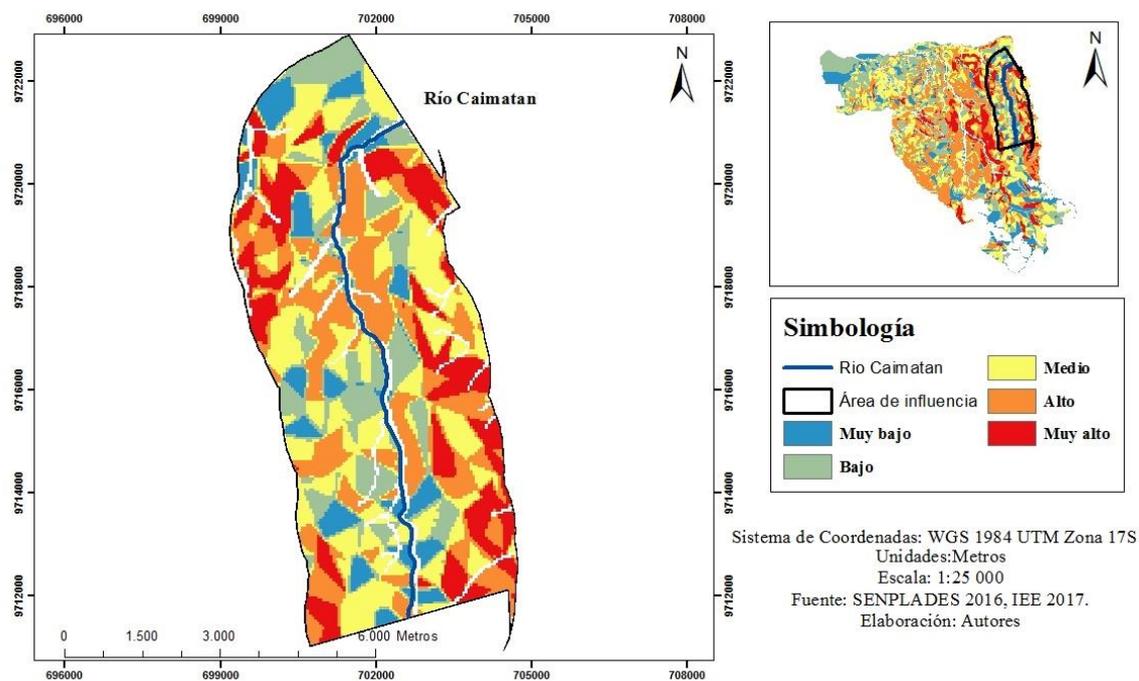


Ilustración 27. Mapa de riesgo potencial de degradación del suelo.

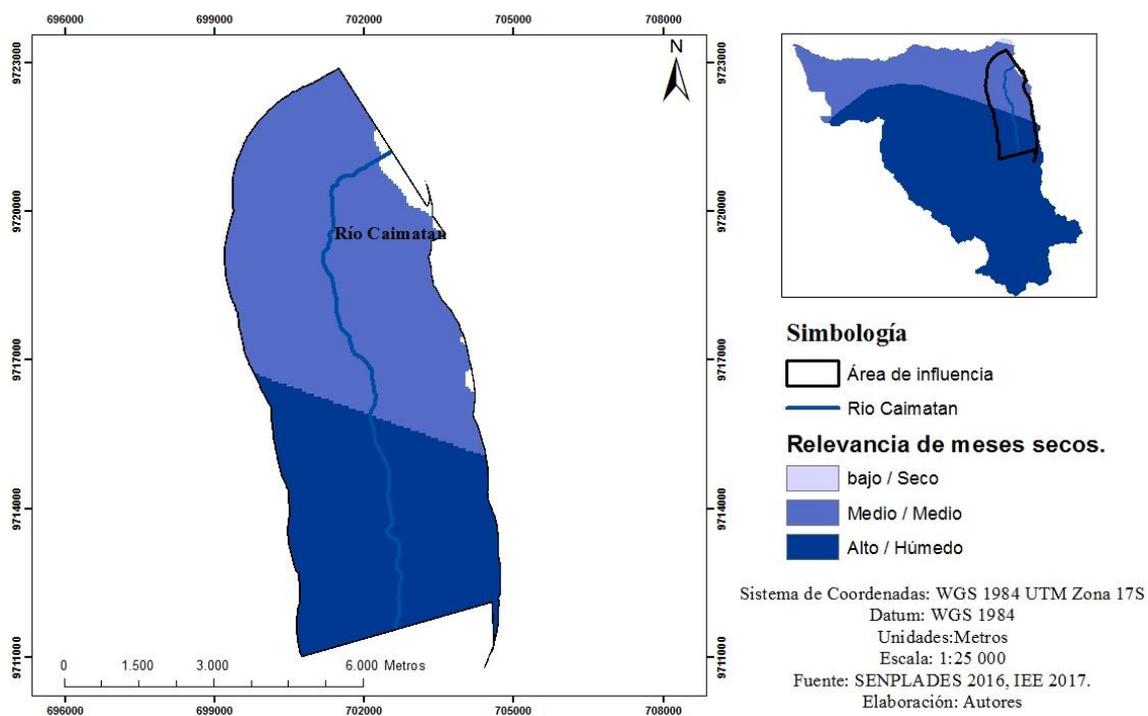


Ilustración 28. Mapa de meses secos.

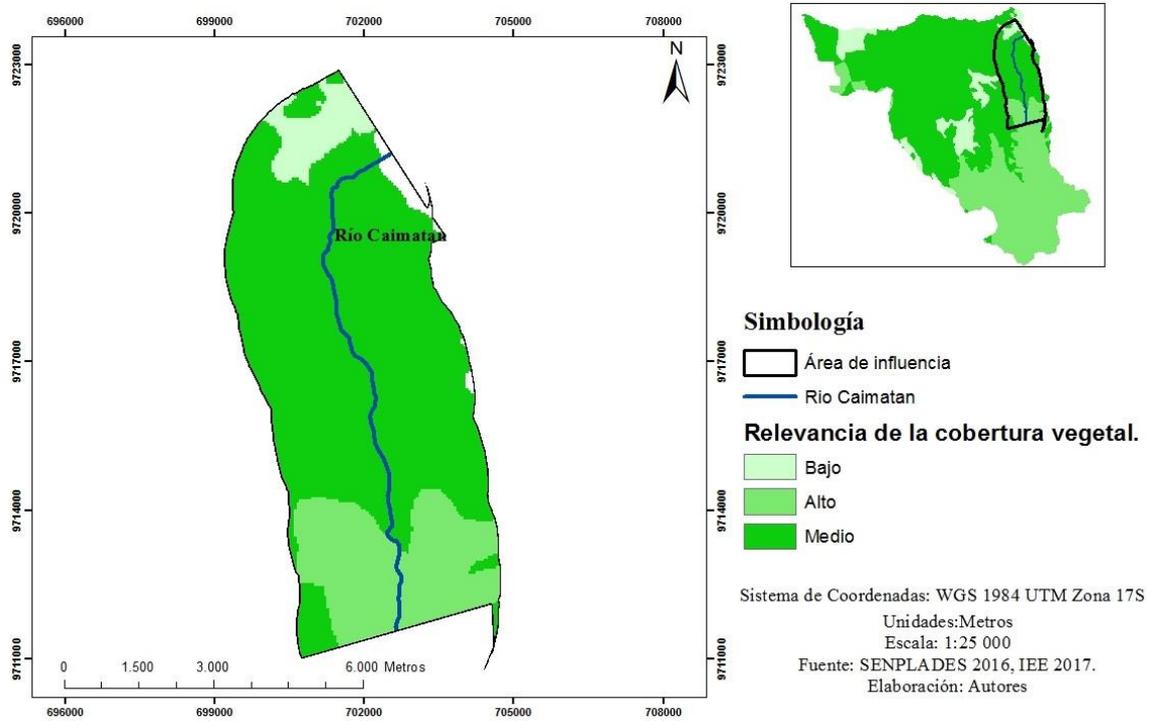


Ilustración 29. Mapa de cobertura del suelo.

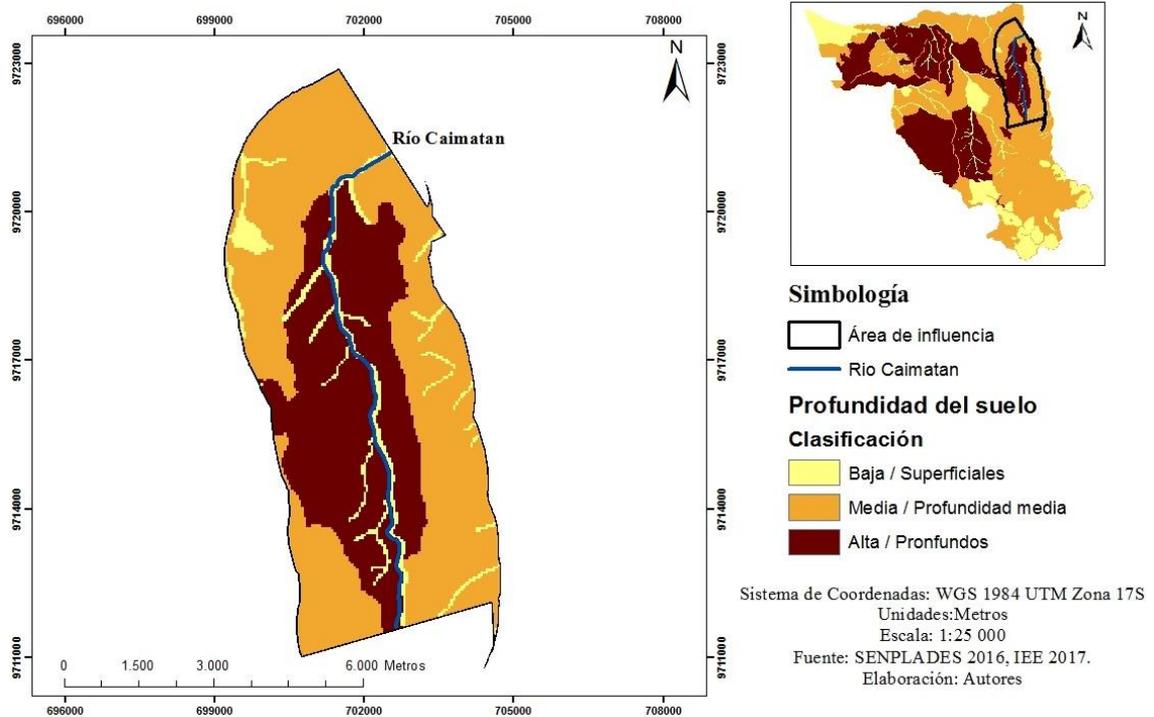


Ilustración 30. Mapa de profundidad del suelo.

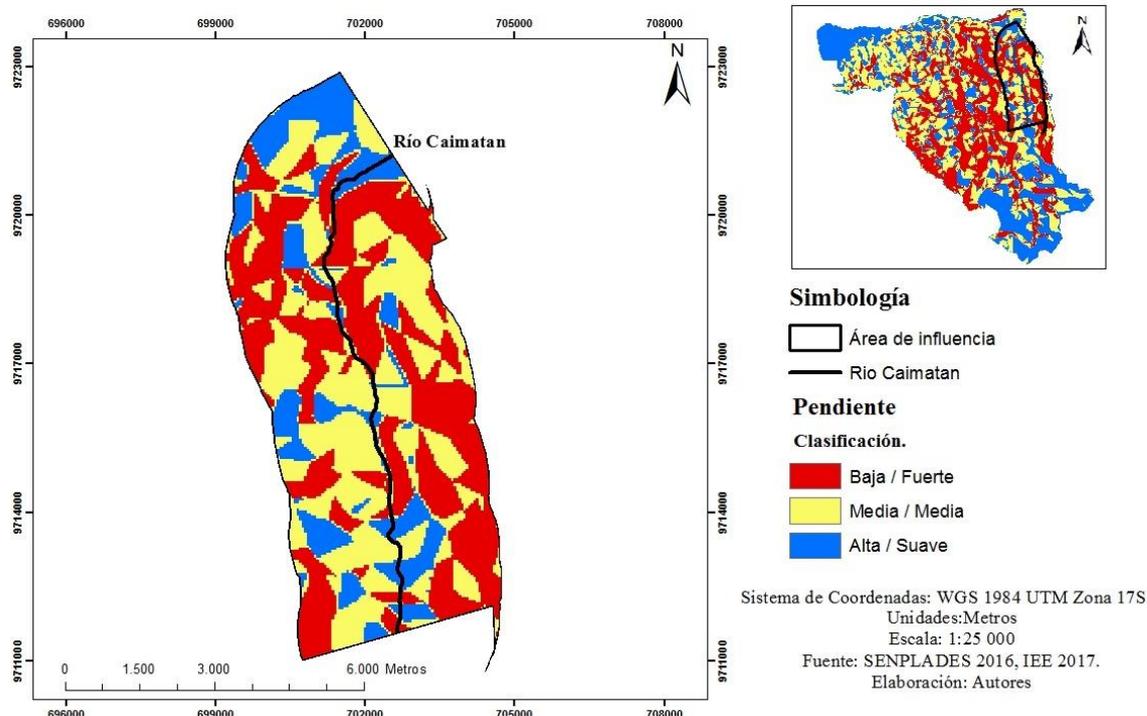


Ilustración 31. Mapa de pendientes de la zona de estudio.

Tabla 25. Autorizaciones dentro del área de influencia.

Nombre del Usuario	Nombre Uso y aprovechamiento	Caudal (l/s)
CLEMENCIA LEONOR CALLE ORTIZ	CONSUMO HUMANO	0,722
YUMBLA SARMIENTO KAISER NARCISO	DOMESTICO	0,27
SOLIZ MORA JULIO EFREN	DOMESTICO	0,015
VILLAVICENCIO MORA JOSE ABEL	RIEGO	0,3
YUMBLA SARMIENTO JUAN GAVINO PROCURADOR COMUN	RIEGO	48,25
AREVALO LUNA LUIS ANTONIO	RIEGO	15
GARCIA VIVAR JOSE VICENTE	DOMESTICO	0,01
ROMERO CALLE ANGEL HUMBERTO	RIEGO	10,36
FERNANDEZ REVILLA MANUEL DE JESUS	RIEGO	2,7
CLEMENCIA LEONOR CALLE ORTIZ	CONSUMO HUMANO	0,722
GARCIA VIVAR JOSE VICENTE	DOMESTICO	0,01
ROMERO CALLE ANGEL HUMBERTO	RIEGO	10,36
FERNANDEZ REVILLA MANUEL DE JESUS	RIEGO	2,7



VILLAVICENCIO MORA JOSE ABEL	DOMESTICO	0,01
ASTUDILLO CUESTA LEOPOLDO	ABREVADERO	0,08
CAZHCO MARIA MANUELA	RIEGO	0,3
ORTIZ SOJOS DAVID OVIDIO	RIEGO	0,66
ORTIZ SOJOS DAVID OVIDIO	RIEGO	1,21
YUMBLA SARMIENTO JUAN GAVINO PROCURADOR COMUN	ABREVADERO	0,009
VILLAVICENCIO MORA JOSE ABEL	RIEGO	0,3
YUMBLA SARMIENTO KAISER NARCISO	RIEGO	39,93
VILLAVICENCIO MORA JOSE ABEL	ABREVADERO	0,02
VILLAVICENCIO MORA JOSE ABEL	DOMESTICO	0,01

Fuente: SENAGUA

Tabla 26. Concesiones mineras dentro de la zona de estudio.

Id	Titular	Mineral de Interés	Estado
10000229	GREEN ROCK RESOURCES GRR SA	ORO PLATA COBRE	Inscrita
10000341	INV MINERALES ECUADOR S.A.INVMINEC	ORO PLATA	Inscrita
10000336	INV MINERALES ECUADOR S.A.INVMINEC	ORO PLATA	Inscrita
10000337	INV MINERALES ECUADOR S.A.INVMINEC	ORO PLATA	Inscrita
10000338	INV MINERALES ECUADOR S.A.INVMINEC	ORO PLATA	Inscrita
10000340	INV MINERALES ECUADOR S.A.INVMINEC	ORO PLATA	Inscrita
10000333	INV MINERALES ECUADOR S.A.INVMINEC	ORO PLATA	Inscrita
10000339	INV MINERALES ECUADOR S.A.INVMINEC	ORO PLATA	Inscrita
10000335	INV MINERALES ECUADOR S.A.INVMINEC	ORO PLATA	Inscrita
10000332	INV MINERALES ECUADOR S.A.INVMINEC	ORO PLATA	Inscrita
10000472	EXPORTADORA AURIFERA S.A. EXPAUSA	ORO PLATA	Inscrita
10000502	CRUZ DEL SOL CSSA S.A.	ORO PLATA	Inscrita

Fuente: INIGEMM

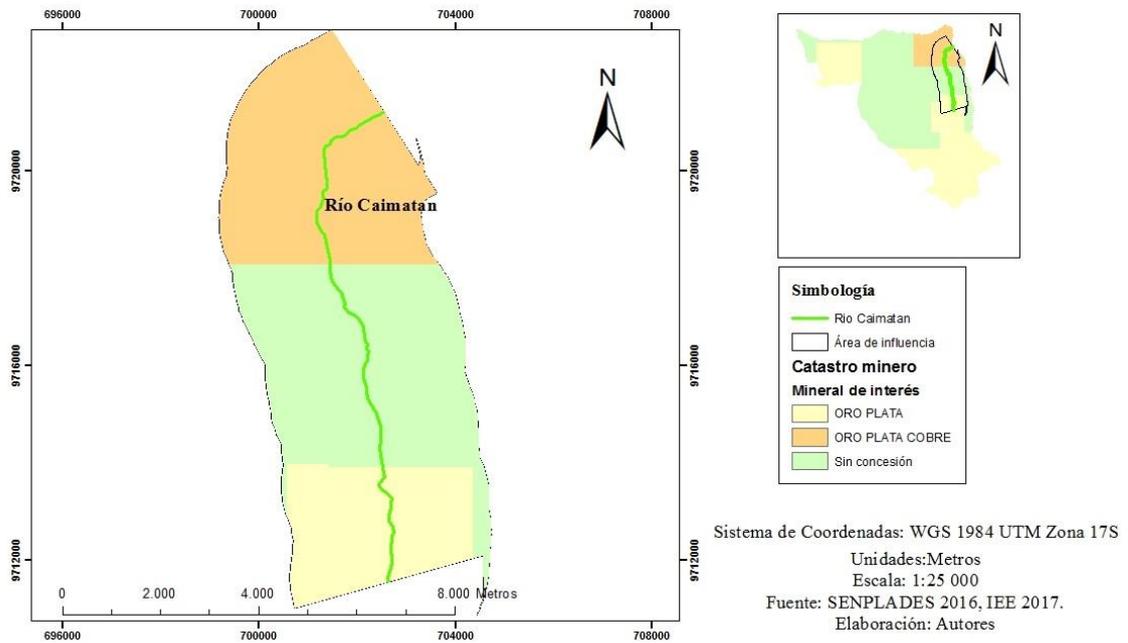


Ilustración 32. Mapa de concesiones mineras.

## Anexo 2. Gráficas del índice de calidad ICA-NSF

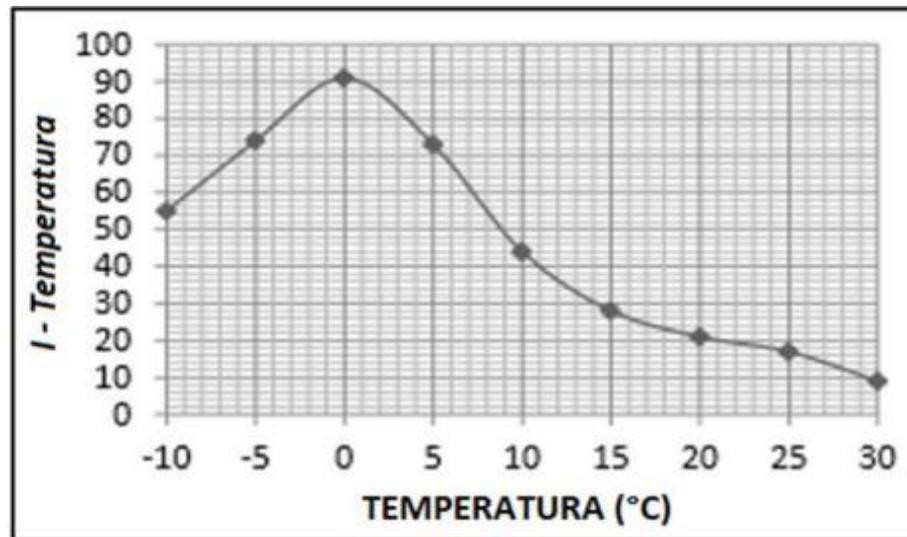
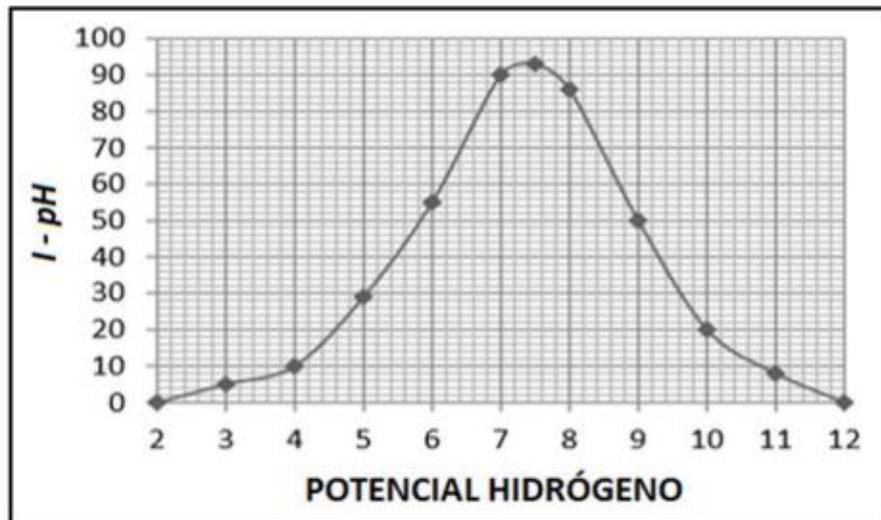
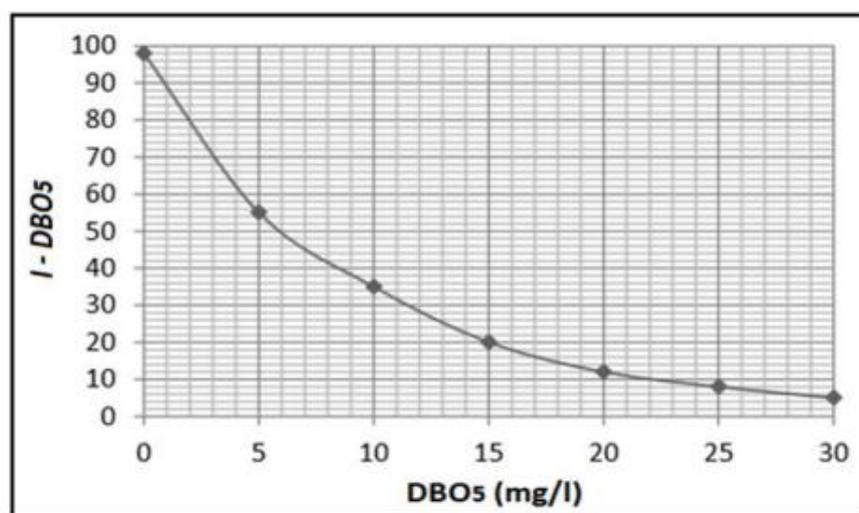


Ilustración 33. Curva de calidad de la temperatura



*Ilustración 34. Curva de calidad del pH.*



*Ilustración 35. Curva de calidad del DBO5.*

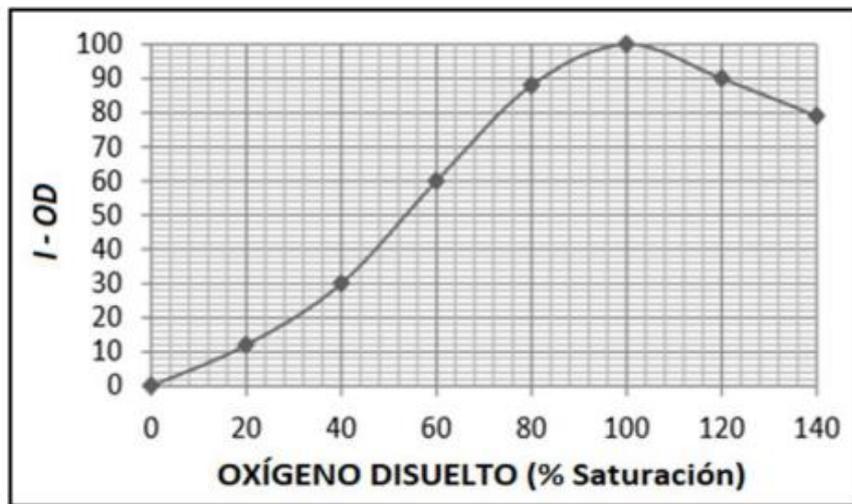


Ilustración 36. Curva de calidad del oxígeno disuelto.

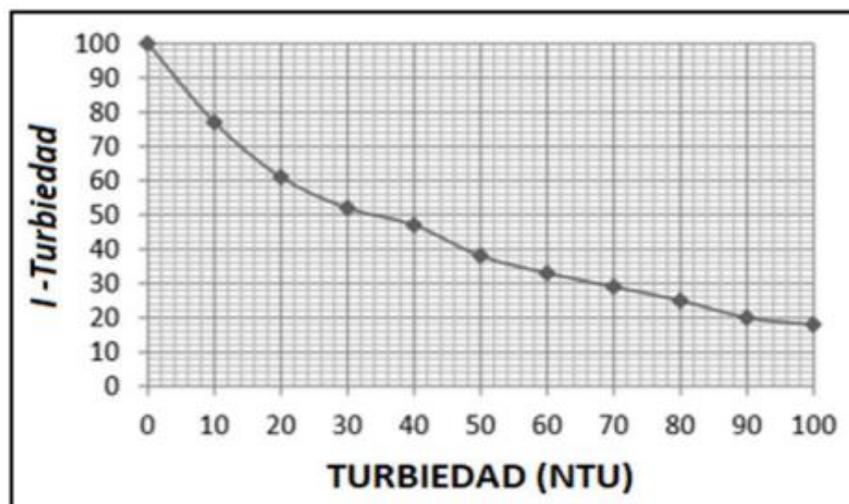


Ilustración 37. Curva de calidad de la turbiedad.

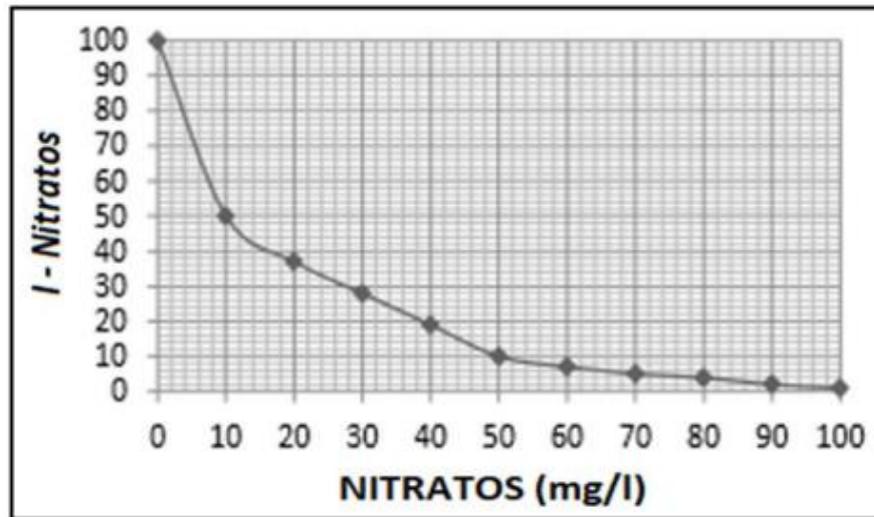


Ilustración 38. Curva de calidad de los nitratos.

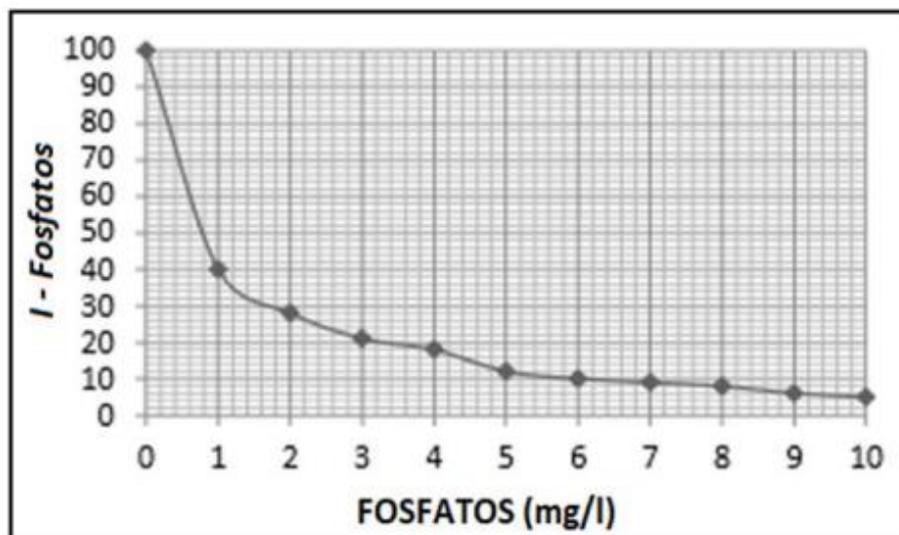


Ilustración 39. Curva de calidad de los fosfatos.

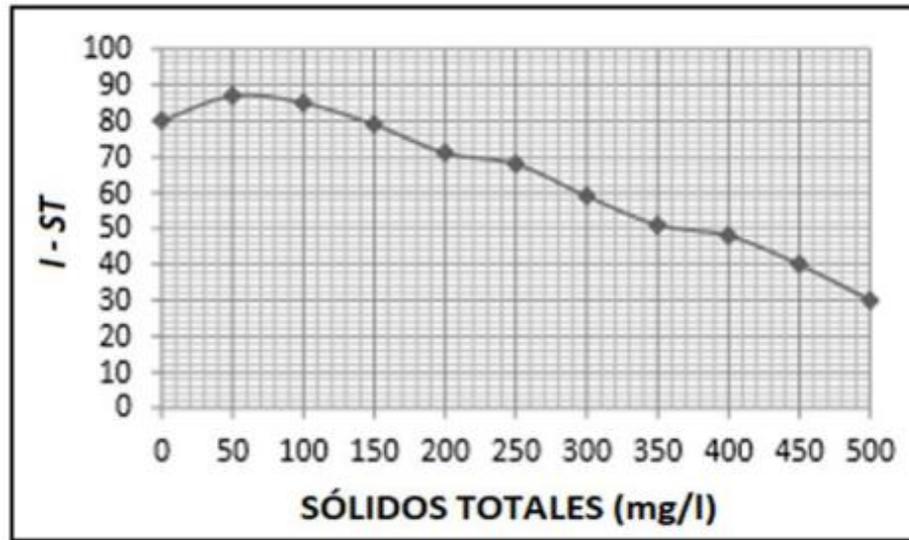


Ilustración 40. Curva de calidad de los sólidos totales.

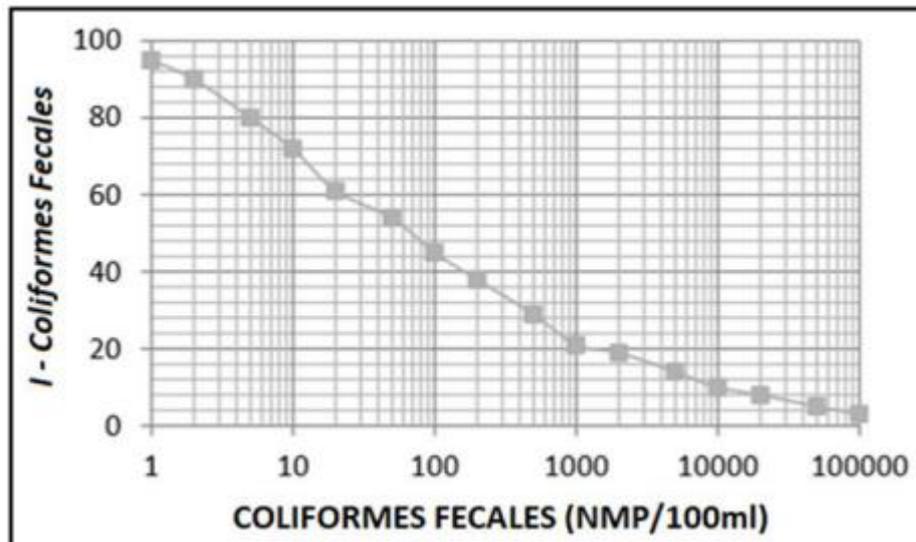


Ilustración 41. Curva de calidad de los Coliformes fecales



### Anexo 3. Verificación de la matriz de confusión

Tabla 27. Matriz de confusión.

Categorías	Bosque nativo	Vegetación arbustiva	Páramo	Área sin cobertura	Vegetación herbácea	Plantación forestal	Cultivo anual	Cultivo semi permanente	Pastizal	Cultivo permanente	Total	Precisión de la categoría	Error
Bosque nativo	41	0	0	1	0	0	10	0	0	0	52	0,79	0,21
Vegetación arbustiva	0	58	0	1	0	0	0	0	0	0	59	0,98	0,02
Páramo	0	0	44	1	0	0	0	0	1	13	59	0,75	0,25
Área sin cobertura	4	0	0	61	0	0	0	8	0	0	73	0,84	0,16
Vegetación herbácea	0	11	0	1	52	0	0	0	0	0	64	0,81	0,19
Plantación forestal	12	0	0	1	1	59	0	0	1	0	74	0,80	0,20
Cultivo anual	0	0	15	1	2	0	60	0	0	0	78	0,77	0,23
Cultivo semi permanente	0	1	0	0	1	0	1	48	0	8	59	0,81	0,19
Pastizal	0	0	4	0	1	0	0	0	35	0	40	0,88	0,13
Cultivo permanente	3	0	0	0	1	0	0	0	0	40	44	0,91	0,09
Total	60	70	63	67	58	59	71	56	37	61	602		
Precisión de la categoría	0,68	0,83	0,70	0,91	0,90	1,00	0,85	0,86	0,95	0,66	Precisión general		
Error	0,32	0,17	0,30	0,09	0,10	0,00	0,15	0,14	0,05	0,34	0,827		



**Anexo 4. Resultados del cálculo del índice ICA-NSF**

Tabla 28. Resultados del ICA-NSF del primer muestreo.

Muestreo 1 / Abril							
PUNTO 1							
Parámetros	UNIDADES	DATOS	Ii	Wi	SUBTOTAL	TOTAL	Valor del ICA-NSF
		S			L	L	
Oxígeno Disuelto	%sat	72,9	79	0,17	2,102	61,989	MEDIA
Coliformes totales	NMP/100M L	4300	14	0,16	1,525		
pH		7,1	90	0,11	1,640		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/lt	4,96	56	0,11	1,557		
Temperatura	C	4	77	0,11	1,544		
Fosfatos totales	mg/lt	0,02	99	0,11	1,583		
Nitratos	mg/lt	0,1	97	0,11	1,580		
Turbiedad	NTU	2	93	0,08	1,437		
Sólidos Totales	mg/lt	22,9	84	0,07	1,364		
PUNTO 2							
Oxígeno Disuelto	%sat	63,4	63	0,17	2,022	47,793	MALA
Coliformes totales	NMP/100M L	21000	8	0,16	1,395		
pH		7,15	91	0,11	1,642		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/lt	16,03	18	0,11	1,374		
Temperatura	C	3	81	0,11	1,552		
Fosfatos totales	mg/lt	0,01	100	0,11	1,585		
Nitratos	mg/lt	0,5	97	0,11	1,580		
Turbiedad	NTU	10	76	0,08	1,414		
Sólidos Totales	mg/lt	38,3	86	0,07	1,366		
PUNTO 3							
Oxígeno Disuelto	%sat	71,8	77	0,17	2,093	51,523	MEDIA
Coliformes totales	NMP/100M L	21000	8	0,16	1,395		
pH		7,6	92	0,11	1,644		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/lt	6,9	46	0,11	1,524		
Temperatura	C	4	77	0,11	1,544		
Fosfatos totales	mg/lt	0,02	99	0,11	1,583		
Nitratos	mg/lt	0,6	96	0,11	1,578		
Turbiedad	NTU	52	38	0,08	1,338		
Sólidos Totales	mg/lt	79	85	0,07	1,365		

Elaboración: Autores



Tabla 29. Resultados del ICA-NSF del segundo muestreo.

Muestreo 2 / Mayo							
PUNTO 1							
Parámetros	UNIDADES	DATOS	Ii	Wi	SUBTOTAL	TOTAL	Valor del ICA-NSF
Oxígeno Disuelto	%sat	81	88	0,17	2,141	80,326	BUENA
Coliformes totales	NMP/100ML	0	100	0,16	2,089		
pH		6,03	55	0,11	1,554		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/lt	6,76	47	0,11	1,527		
Temperatura	C	4	77	0,1	1,544		
Fosfatos totales	mg/lt	0,08	97	0,1	1,580		
Nitratos	mg/lt	0,1	97	0,1	1,580		
Turbiedad	NTU	1,44	95	0,08	1,440		
Sólidos Totales	mg/lt	19,6	84	0,07	1,364		
PUNTO 2							
Oxígeno Disuelto	%sat	80,5	87	0,17	2,137	84,724	BUENA
Coliformes totales	NMP/100ML	0	100	0,16	2,089		
pH		6,6	75	0,11	1,608		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/lt	4,88	56	0,11	1,557		
Temperatura	C	4	77	0,1	1,544		
Fosfatos totales	mg/lt	0,06	98	0,1	1,582		
Nitratos	mg/lt	0	97	0,1	1,580		
Turbiedad	NTU	0,97	96	0,08	1,441		
Sólidos Totales	mg/lt	28,51	84	0,07	1,364		
PUNTO 3							
Oxígeno Disuelto	%sat	81,5	88	0,17	2,141	67,245	MEDIA
Coliformes totales	NMP/100ML	700	25	0,16	1,674		
pH		7,42	93	0,11	1,646		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/lt	6,44	48	0,11	1,531		
Temperatura	C	4	77	0,1	1,544		
Fosfatos totales	mg/lt	0,13	95	0,1	1,577		
Nitratos	mg/lt	0,7	96	0,1	1,578		
Turbiedad	NTU	8,13	80	0,08	1,420		
Sólidos Totales	mg/lt	83,8	85	0,07	1,365		

Elaboración: Autores

Tabla 30. Resultados del ICA-NSF del tercer muestreo.

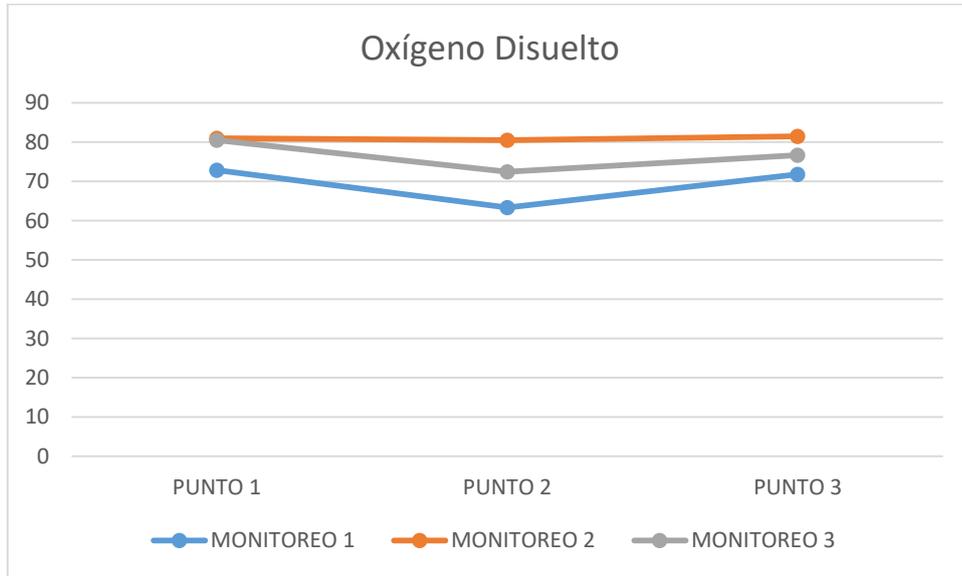


Muestreo 3 / Junio							
PUNTO 1							
PARAMETROS	UNIDADES	DATOS	li	Wi	SUBTOTAL	TOTAL	Valor del ICA-NSF
Oxígeno Disuelto	%sat	80,5	87	0,17	2,137	87,573	BUENA
Coliformes totales	NMP/100M L	0	0	0,16	2,089		
pH		7	88	0,11	1,636		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/lt	3,58	64	0,11	1,217		
Temperatura	C	4	77	0,1	1,544		
Fosfatos totales	mg/lt	0,03	99	0,1	1,583		
Nitratos	mg/lt	0,8	96	0,1	1,578		
Turbiedad	NTU	0,78	97	0,08	1,442		
Sólidos Totales	mg/lt	20,3	84	0,07	1,364		
PUNTO 2							
Oxígeno Disuelto	%sat	72,5	78	0,17	2,097	52,576	MEDIA
Coliformes totales	NMP/100M L	900	23	0,16	1,651		
pH		7,53	92	0,11	1,644		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/lt	26,23	6	0,11	1,2178		
Temperatura	C	4	77	0,1	1,544		
Fosfatos totales	mg/lt	0,04	98	0,1	1,582		
Nitratos	mg/lt	0,7	96	0,1	1,578		
Turbiedad	NTU	1,02	96	0,08	1,441		
Sólidos Totales	mg/lt	30,8	85	0,07	1,365		
PUNTO 3							
Oxígeno Disuelto	%sat	76,7	83	0,17	2,120	61,578	MEDIA
Coliformes totales	NMP/100M L	600	27	0,16	1,694		
pH		7,8	90	0,11	1,640		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/lt	15,38	19	0,11	1,538		



Temperatura	C	4	77	0,1	1,544
Fosfatos totales	mg/lt	0,04	98	0,1	1,582
Nitratos	mg/lt	0,6	96	0,1	1,578
Turbiedad	NTU	2,01	93	0,0 8	1,437
Sólidos Totales	mg/lt	85,4	85	0,0 7	1,365

**Anexo 5 Variaciones de los parámetros**



*Ilustración 42. Variación del oxígeno disuelto obtenido en los 3 monitoreos.*

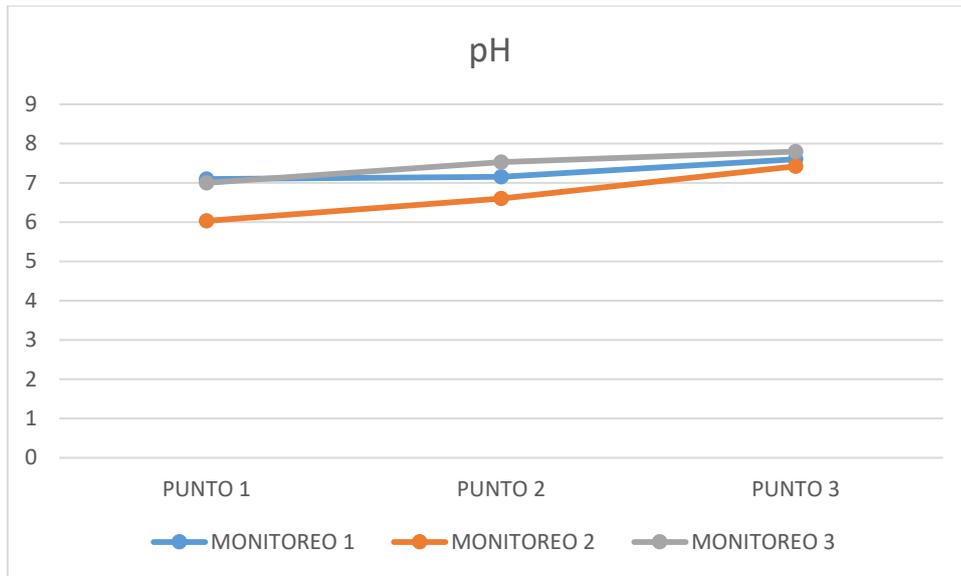


Ilustración 43. Variación de los pH obtenidos en los 3 monitoreos.

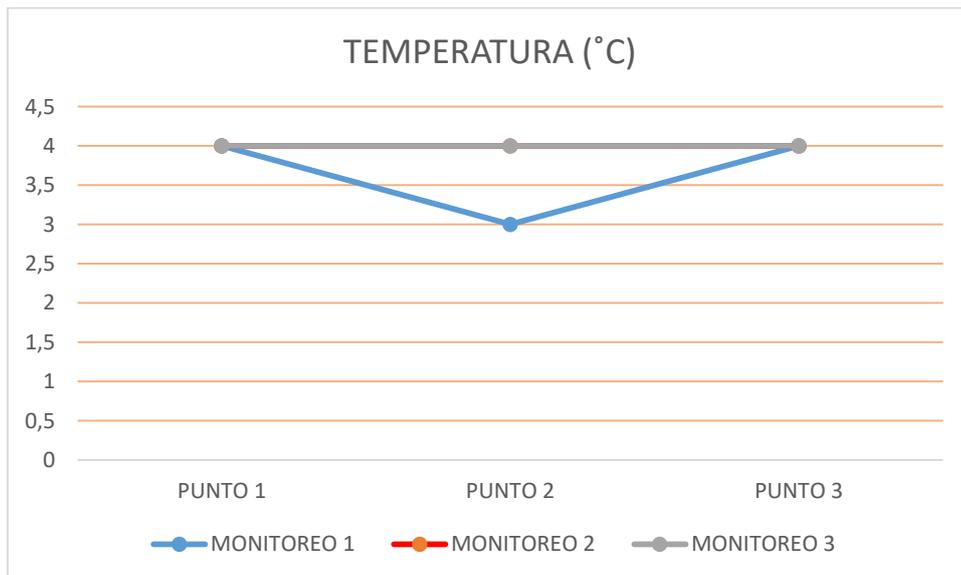


Ilustración 44. Variación de las temperaturas obtenidas en los 3 monitoreos.

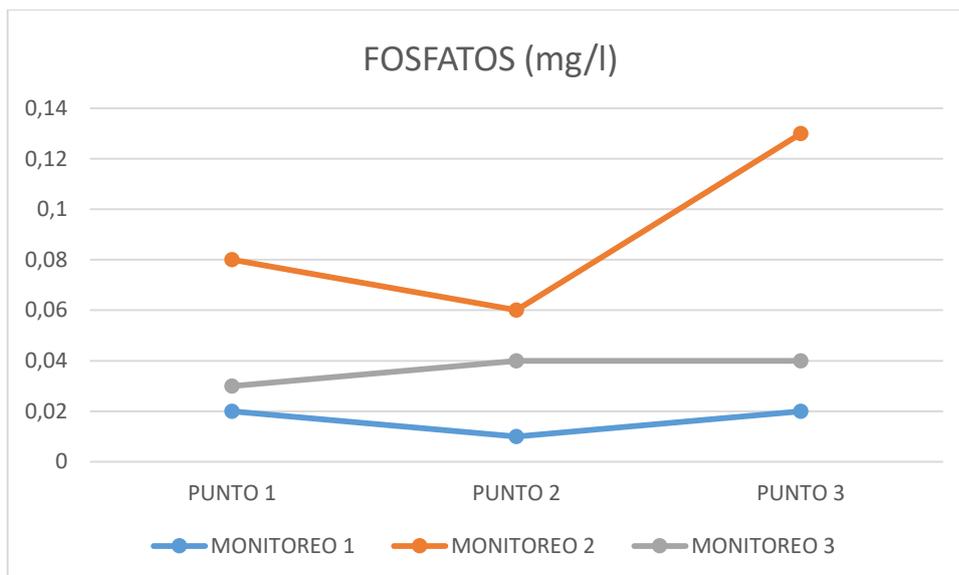


Ilustración 45. Variación de los fosfatos obtenidos en los 3 monitoreos.

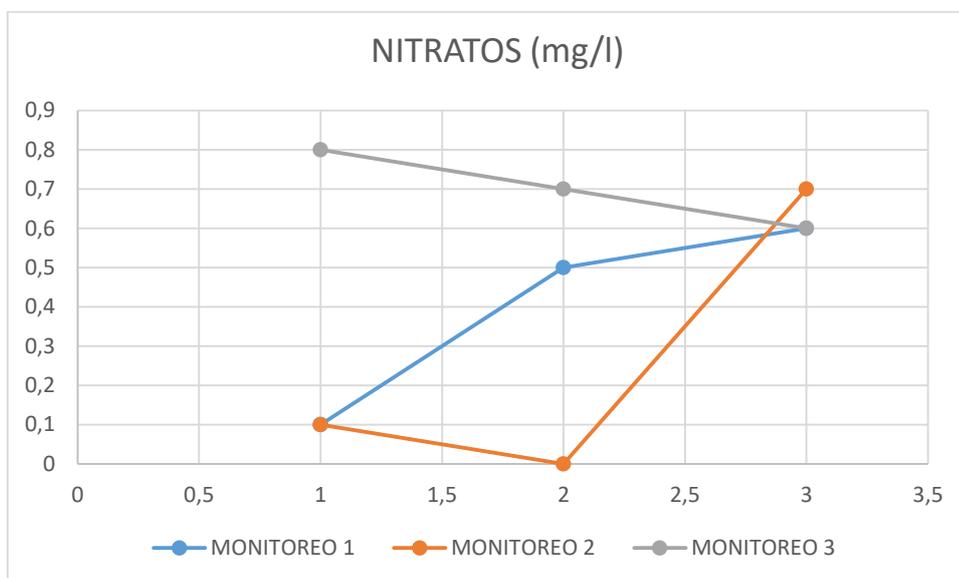


Ilustración 46. Variación de los nitratos obtenidos en los 3 monitoreos.

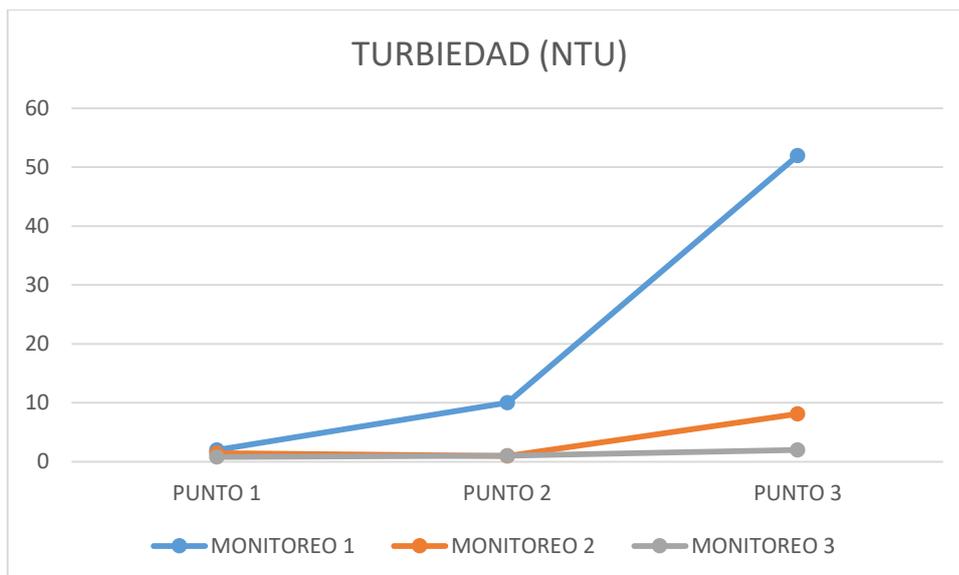


Ilustración 47. Variación de turbiedad obtenida en los 3 monitoreos.

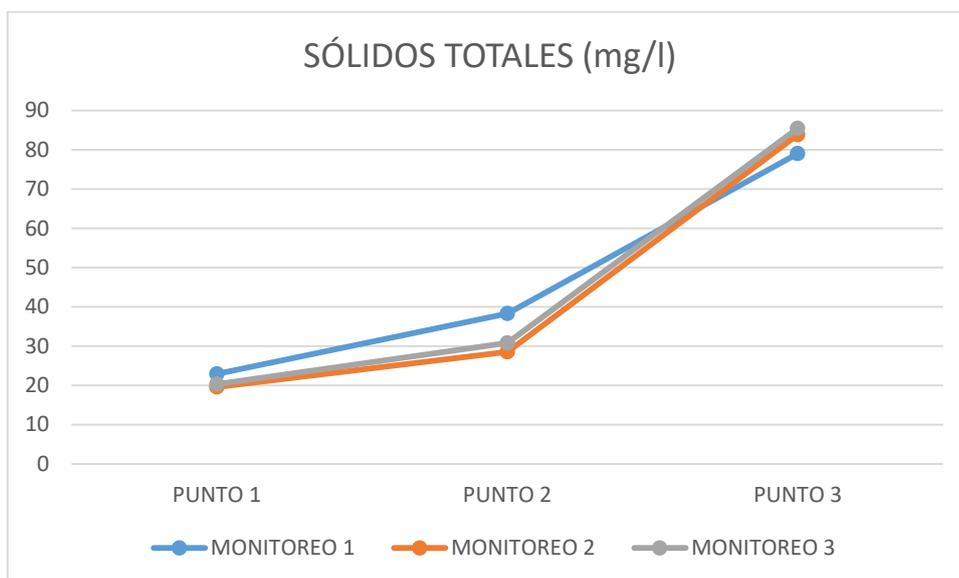


Ilustración 48. Variación de los sólidos totales obtenidas en los 3 monitoreos.



**Anexo 6. Sitios de muestreo.**



*Ilustración 49. Primer punto de monitoreo.*



*Ilustración 50. Segundo punto de monitoreo.*



*Ilustración 51. Tercer punto de monitoreo.*



Anexo 7 Resultados de los análisis del laboratorio



LABORATORIO ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: **María Caridad Suárez** Código **0402019**  
 Lugar de la toma de muestra: **Río Caimatan (p1;p2; p3)**  
 Tipo de agua: **De río**  
 Dirección: **Cañar**  
 Teléfono:  
 Fecha de la toma: **26/04/2019**  
 Fecha del análisis: **26/04/2019**

PARÁMETRO	Punto 1	Punto 2	Punto 3	UNIDADES	PROCEDIMIENTOS SEGUIDOS EN MS
	VALOR HALLADO	VALOR HALLADO	VALOR HALLADO		
1 pH	7,1 ✓	7,15 ✓	7,6 ✓	Unidades	MNE 2320-B
2 Turbiedad	2 ✓	10 ✓	52 ✓	UNT	MNE 2130-B
3 Oxígeno Disuelto	8,49 ✓	7,38 ✓	8,38 ✓	mg/l O <sub>2</sub>	MNE 2120-B
4 Sólidos totales	22,9 ✓	38,3 ✓	79 ✓	mg/l	MNE 2540-C
5 Conductividad	39,9 ✓	64,3 ✓	134,3 ✓	µS/cm	MNE 2510-B
6 Demanda Bioquímica de O <sub>2</sub>	4,96 ✓	16,03 ✓	6,90 ✓	mg/l O <sub>2</sub>	MNE 5210-B
7 Nitritos	0,004 ✓	0,004 ✓	0,003 ✓	mg/NO <sub>2</sub>	MNE 4500-B
8 Nitratos	0,1 ✓	0,5 ✓	0,6 ✓	mg/l NO <sub>3</sub>	MNE 4500-B
9 Fosfatos	0,02 ✓	0,01 ✓	0,02 ✓	mg/l PO <sub>4</sub>	MNE 4500-C

Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg y siguiendo los procesos de Estándar Métodos Normalizados

INFORME DEL RESULTADO MICROBIOLÓGICO

Fecha de la toma: **26/04/2019**  
 Fecha del análisis: **1/05/2019**

Muestra	Parámetro	Método	Unidad	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Agua del río Caymatan	Coliformes totales	NTE / INEN	NMP/ml	43 ✓	210 ✓	210 ✓
	Escherichia Coli	NTE / INEN	NMP/ml	negativo	150	150

Se siguieron las siguientes normas INEN: 1529  
 NMP= Número más probable  
 NTE= Norma Técnica Ecuatoriana  
 Método de los tubos múltiples

Dr. Giovanni Larriva, MSc.

Analista Responsable

TÉRMINOS Y CONDICIONES: La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad Internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por la condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores- las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas ineludiblemente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el L. A. C. A. tendrán el carácter de provisional y podrán estar sujetos a cambios basados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio.- Se entenderá como certificado o informe de análisis válidamente emitido al documento en original, debidamente timbrado y firmado por el responsable del Laboratorio

Ilustración 52. Resultados del laboratorio del primer muestreo.



#2



LABORATORIO ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: **María Caridad Suárez** Código: **0402019**  
 Lugar de la toma de muestra: **Río Caimatan (p1;p2; p3)**  
 Tipo de agua: **De río**  
 Dirección: **Cañar**  
 Teléfono:  
 Fecha de la toma: **28/05/2019**  
 Fecha del análisis: **29/05/2019**

PARÁMETRO	Punto 1	Punto 2	Punto 3	UNIDADES	PROCEDIMIENTOS SEGUIDOS EN MS
	VALOR HALLADO	VALOR HALLADO	VALOR HALLADO		
1 pH	6,03	6,6	7,42	Unidades	MNE 2320-B
2 Turbiedad	1,44	0,97	8,13	UNT	MNE 2130-B
3 Oxígeno Disuelto	9,43	9,375	9,49	mg/l O <sub>2</sub>	MNE 2120-B
4 Sólidos totales	19,6	28,51	83,8	mg/l	MNE 2540-C
5 Conductividad	30,8	42,5	123,7	µS/cm	MNE 2510-B
6 Demanda Bioquímica de O <sub>2</sub>	6,76	4,88	6,44	mg/l O <sub>2</sub>	MNE 5210-B
7 Nitritos	0,002	0,001	0,001	mg/NO <sub>2</sub>	MNE 4500-B
8 Nitratos	0,1	0	0,7	mg/l NO <sub>3</sub>	MNE 4500-B
9 Fosfatos	0,08	0,06	0,13	mg/l PO <sub>4</sub>	MNE 4500-C

Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg y siguiendo los procesos de Estándar Métodos Normalizados

INFORME DEL RESULTADO MICROBIOLÓGICO

Fecha de la toma: **29/04/2019**  
 Fecha del análisis: **31/05/2019**

Muestra	Parámetro	Método	Unidad	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Agua del río Caimatan	Coliformes totales	NTE / INEN	NMP/ml	negativo	negativo	7 ✓
	Escherichia Coli	NTE / INEN	NMP/ml	negativo	negativo	2

Se siguieron las siguientes normas INEN: 1529  
 NMP= Número más probable  
 NTE= Norma Técnica Ecuatoriana  
 Método de los tubos múltiples

Dr. Giovanni Larriva. MSc.

Analista Responsable

TÉRMINOS Y CONDICIONES: La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por la condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores- las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas ineludiblemente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el L. A. C. A. tendrán el carácter de provisional y podrán estar sujetos a cambios basados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio.- Se entenderá como certificado o informe de análisis válidamente emitido al documento en original, debidamente timbrado y firmado por el responsable del Laboratorio

Ilustración 53. Resultados del laboratorio del segundo muestreo.



Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: *María Caridad Suárez* Código 0412019  
 Lugar de la toma de muestra: *Río Caimatan (p1;p2; p3)*  
 Tipo de agua: *De río*  
 Dirección: *Cañar*  
 Teléfono:  
 Fecha de la toma: *26/06/2019*  
 Fecha del análisis: *27/06/2019*

PARÁMETRO	Punto 1	Punto 2	Punto 3	UNIDADES	PROCEDIMIENTOS SEGUIDOS EN MS
	VALOR HALLADO	VALOR HALLADO	VALOR HALLADO		
1 pH	7	7,53	7,8	Unidades	MNE 2320-B
2 Turbiedad	0,78	1,02	2,01	UNT	MNE 2130-B
3 Oxígeno Disuelto	80,5	72,5	76,7	%O <sub>2</sub>	MNE 2120-B
5 Sólidos totales	20,3	30,8	85,4	mg/l	MNE 2540-C
6 conductividad	31,6	44,3	122	µS/cm	MNE 2510-B
7 Demanda Bioquímica de O <sub>2</sub>	3,58	26,23	15,38	mg/l O <sub>2</sub>	MNE 5210-B
8 Nitritos	0,002	0,003	0,00	mg/NO <sub>2</sub>	MNE 4500-B
9 Nitratos	0,8	0,7	0,6	mg/l NO <sub>3</sub>	MNE 4500-B
10 Fosfatos	0,03	0,04	0,04	mg/l PO <sub>4</sub>	MNE 4500-C

Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg y siguiendo los proceso de Estándar Métodos Normalizados

INFORME DEL RESULTADO MICROBIOLÓGICO

Fecha de la toma: *26/06/2019*

Fecha del análisis: *27/06/2019*  
*01/072019*

Muestra	Parámetro	Método	Unidad	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Agua del río Caymatan	Coliformes totales	NTE / INEN	NMP/ml	Negativo	9	6
	Escherichia Coli	NTE / INEN	NMP/ml	Negativo	5	3

Se siguieron las siguientes normas INEN: 1529

NMP= Número más probable

NTE= Norma Técnica Ecuatoriana

Método de los tubos múltiples

UNIVERSIDAD DE CUENCA  
 FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS  
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS  
  
 Dr. Giovanni Larriva. MSc.

TÉRMINOS Y CONDICIONES: La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad Internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por la condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores- las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas ineludiblemente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el L. A. C. A. tendrán el carácter de provisional y podrán estar sujetos a cambios basados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio.- Se entenderá como certificado o informe de análisis válidamente emitido al documento en original, debidamente timbrado y firmado por el responsable del Laboratorio

Ilustración 54. Resultados del laboratorio del tercer muestreo.