



**Evaluación geoespacial de las condiciones hídricas en zonas de concesión  
minera de material pétreo en la Hacienda Ortuño**

Meneses Guerrero, Adriana Carolina

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera Geógrafa y del Medio  
Ambiente

Mg. Durán Carrillo, José Ricardo

07 agosto del 2020



## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** TESIS\_ADRIANA\_MENESES\_GUERRERO.docx (D77563463)  
**Submitted:** 8/7/2020 7:05:00 AM  
**Submitted By:** jrduran@espe.edu.ec  
**Significance:** 3 %

### Sources included in the report:

TRABAJO DE TITULACIÓN UTN\_ Raul Rosado\_24Abr2020\_RR-31.docx (D71360790)  
TESIS\_SANDOVAL\_MONTENEGRO\_c.pdf (D56768091)  
TFT FINAL CHICAIZA- VALAREZO.pdf (D16994841)  
PROYECTO QUIMICA DEL AGUA(RIO QUEVEDO) - CORREGIDO.docx (D35946388)  
[https://books.google.com.ec/books/about/Impactos\\_de\\_la\\_miner%C3%ADa\\_en\\_el\\_medio\\_natu.html?id=CHU7nQAACAAJ&redir\\_esc=yLodo](https://books.google.com.ec/books/about/Impactos_de_la_miner%C3%ADa_en_el_medio_natu.html?id=CHU7nQAACAAJ&redir_esc=yLodo)  
<https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5647/1/IAD-2005-T019.pdf>  
<https://worldwidescience.org/topicpages/d/del+agua+como.html>  
<https://core.ac.uk/download/pdf/200327265.pdf>  
<https://docplayer.es/98462086-Escuela-politecnica-del-ejercito.html>  
<https://luisfonsecablog.wordpress.com/2016/06/13/humedales-en-los-andes-meridenos-una-vision-sedimentologica-y-geomorfologica/>

### Instances where selected sources appear:

13

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "José Ricardo Mg. Durán Carrillo". The signature is stylized and includes a large, sweeping flourish at the top.

**Durán Carrillo, José Ricardo Mg.**

**DIRECTOR**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “**Evaluación geoespacial de las condiciones hídricas en zonas de concesión minera de material pétreo en la Hacienda Ortuño**” fue realizado por la señorita **Meneses Guerrero, Adriana Carolina** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

**Sangolquí, 07 de agosto, 2020**

**Durán Carrillo, José Ricardo Mg.**

C. C.:1706351192



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Yo, **Meneses Guerrero, Adriana Carolina**, con cédula de ciudadanía n° 1724309123, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Evaluación geoespacial de las condiciones hídricas en zonas de concesión minera de material pétreo en la Hacienda Ortuño”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Sangolquí, 07 de agosto, 2020**

**Meneses Guerrero, Adriana Carolina**

C.C.: 1724309123



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Yo, **Meneses Guerrero, Adriana Carolina**, con cédula de ciudadanía n° 1724309123, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Evaluación geoespacial de las condiciones hídricas en zonas de concesión minera de material pétreo en la Hacienda Ortuño** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

**Sangolquí, 07 de agosto, 2020**

**Meneses Guerrero, Adriana Carolina**

C.C.: 1724309123

### **Dedicatoria**

Esta tesis se la dedico a mi familia quienes siempre han sido mi soporte y guía, principalmente a mis padres que han sido un pilar fundamental en mi formación personal y profesional, por brindarme los recursos, el apoyo, la confianza y los consejos para lograrlo.

## **Agradecimiento**

A Dios quien me dio la fortaleza y la sabiduría para culminar mi carrera.

A mi hermano y a mis mejores amigos Samantha, Verito, Pablo y Josselyn por ayudarme a sobrellevar momentos de estrés con: cariño, paciencia y palabras de aliento; por confiar en mí y apoyarme en cada paso que doy.

A mi director de tesis Ing. Ricardo Durán quien supo guiarme con paciencia transmitiendo sus conocimientos y brindándome todo su apoyo para la realización de este proyecto.

Al Msc. Alexander Robayo por su valiosa ayuda y consejos que ayudaron en la realización de este estudio.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en especial, a la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente y a su personal Docente, por los valiosos conocimientos compartidos y por toda la confianza y enseñanzas que me brindaron durante los años de mi formación profesional.

El más sincero agradecimiento a los diferentes colegas, amigos, maestros y familiares que me acompañaron en el transcurso de mi carrera universitaria.

## Índice de contenido

<b>Urkund</b> .....	<b>2</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>3</b>
<b>Responsabilidad de Autoría</b> .....	<b>4</b>
<b>Autorización de Publicación</b> .....	<b>5</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>6</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>7</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>14</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>15</b>
<b>Capítulo I</b> .....	<b>16</b>
<b>Generalidades</b> .....	<b>16</b>
Planteamiento del Problema.....	16
Antecedentes.....	17
Justificación del Problema.....	18
Objetivos.....	20
<i>Objetivo General</i> .....	20
<i>Objetivos específicos</i> .....	20
<b>Capítulo II</b> .....	<b>21</b>
<b>Marco Teórico</b> .....	<b>21</b>
Recursos Naturales.....	21
<i>Clasificación de los recursos naturales</i> .....	21
Suelo.....	22
<i>Caracterización del suelo</i> .....	23
<i>Clasificación del suelo</i> .....	24
Materiales pétreos.....	25



	9
Material tipo grava (Cascajo) .....	26
Explotación minera .....	26
Agua .....	27
Calidad del agua .....	28
Criterios de Calidad de Agua .....	28
<i>pH</i> .....	29
<i>Conductividad</i> .....	29
<i>Temperatura</i> .....	30
<i>Sólidos disueltos totales</i> .....	30
<i>Sulfatos</i> .....	30
<i>Dureza</i> .....	31
<i>Cloruro</i> .....	31
<i>Boro</i> .....	31
<i>Bicarbonatos</i> .....	32
<i>Calcio</i> .....	32
<i>Magnesio</i> .....	32
<i>Demanda Biológica de Oxígeno</i> .....	33
<i>Demanda Química de Oxígeno</i> .....	33
<i>Coliformes fecales</i> .....	33
Cuencas Hidrográficas .....	34
<i>Clasificación de Cuencas Hidrográficas</i> .....	34
Ortofoto .....	35
Mapas .....	36
Sistemas de información geográfica .....	36
<b>Capítulo III</b> .....	<b>37</b>

	10
<b>Metodología .....</b>	<b>37</b>
Descripción de las áreas de estudio .....	37
Delimitación de las áreas de estudio.....	38
Caracterización del sistema hidrográfico.....	39
<i>Delimitación de la Microcuenca.....</i>	<i>39</i>
<i>Propiedades Morfométricas .....</i>	<i>41</i>
Caracterización del suelo.....	41
Muestreo y Análisis de agua.....	42
<i>Muestreo.....</i>	<i>42</i>
<i>Método de Análisis.....</i>	<i>45</i>
<b>Capítulo IV.....</b>	<b>47</b>
<b>Resultados .....</b>	<b>47</b>
Delimitación de las áreas de estudio.....	47
Caracterización del sistema hidrográfico.....	48
Delimitación de la Microcuenca .....	50
<i>Creación del Modelo digital del terreno .....</i>	<i>50</i>
<i>Dirección de flujo y Acumulación de flujo .....</i>	<i>52</i>
<i>Generación y vectorización de las cuencas .....</i>	<i>55</i>
Propiedades morfométricas de la microcuenca.....	57
<i>Área de la Microcuenca (A).....</i>	<i>57</i>
<i>Perímetro de la Microcuenca (P).....</i>	<i>57</i>
<i>Longitud de la cuenca (L).....</i>	<i>58</i>
<i>Ancho de la microcuenca (W) .....</i>	<i>58</i>
<i>Coefficiente de Compacidad o Índice de Gravelius (Kc).....</i>	<i>59</i>
<i>Factor de Forma de Horton (Ff) .....</i>	<i>60</i>

	11
<i>Desnivel altitudinal de la microcuenca (G)</i> .....	60
<i>Alturas Características</i> .....	61
<i>Pendiente media de la microcuenca (S)</i> .....	64
<i>Red de drenaje y cauce principal</i> .....	66
<i>Orden de la red hídrica (O)</i> .....	67
<i>Longitud de la red hídrica (C)</i> .....	67
<i>Pendiente promedio de la red hídrica</i> .....	68
<i>Densidad de drenaje (Z)</i> .....	69
Caracterización del suelo.....	70
<i>Geomorfología y litología</i> .....	70
<i>Textura y estructura del suelo</i> .....	73
<i>Subsuelo y Capa Freática</i> .....	76
Análisis de concentraciones obtenidas en Laboratorio.....	79
<i>Concentraciones inorgánicas</i> .....	79
<i>Concentraciones orgánicas</i> .....	86
Comprobación de la exactitud de los resultados .....	88
<b>Capítulo V</b> .....	<b>92</b>
<b>Conclusiones y Recomendaciones</b> .....	<b>92</b>
Conclusiones .....	92
Recomendaciones .....	94
<b>Referencias</b> .....	<b>95</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>100</b>

### Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Órdenes principales del suelo .....	25
<b>Tabla 2</b> Clasificación de cuencas según el escurrimiento .....	35
<b>Tabla 3</b> Clasificación de cuencas según el área en el Ecuador.....	35
<b>Tabla 4</b> Coordenadas Zonas de estudio .....	38
<b>Tabla 5</b> Información y fuentes bibliográficas de las zonas de estudio .....	39
<b>Tabla 6</b> Información y Fuentes bibliográficas de textura y estructura de suelo .....	41
<b>Tabla 7</b> Coordenadas de los puntos de muestreo de agua .....	42
<b>Tabla 8</b> Métodos Estándares para análisis de agua .....	45
<b>Tabla 9</b> Sub-cuencas del río Pastaza.....	49
<b>Tabla 10</b> Área entre curvas de nivel.....	62
<b>Tabla 11</b> Superficie en intervalos de pendiente.....	66
<b>Tabla 12</b> Longitud para cada orden de la red hídrica .....	67
<b>Tabla 13</b> Obtención de la pendiente promedio de la cuenca .....	68
<b>Tabla 14</b> Composición mineralógica de la ceniza del Volcán Cotopaxi .....	72
<b>Tabla 15</b> Características del agregado grueso (Cascajo).....	76
<b>Tabla 16</b> Características del agregado fino (Cangahua) .....	77
<b>Tabla 17</b> Composición iónica de los puntos de muestreo.....	81
<b>Tabla 18</b> Concentraciones orgánicas .....	86
<b>Tabla 19</b> Contenido de coliformes fecales.....	88
<b>Tabla 20</b> Sólidos Disueltos Totales Calculados.....	89
<b>Tabla 21</b> Comprobación de exactitud de resultados.....	91

### Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Clasificación de los recursos naturales .....	22
<b>Figura 2</b> Mapa de ubicación de las zonas de estudio .....	38
<b>Figura 3</b> Diagrama de metodología para la delimitación de la microcuenca.....	40
<b>Figura 4</b> Mapa de puntos de muestro ubicados en la primera zona de concesión .....	42
<b>Figura 5</b> Mapa de puntos de muestro ubicados en la segunda zona de concesión.....	44
<b>Figura 6</b> Mapa de delimitación de las zonas de estudio.....	47
<b>Figura 7</b> Mapa de la Cuenca del Río Pastaza.....	48
<b>Figura 8</b> Mapa de la Cuenca Río Patate.....	49
<b>Figura 9</b> Mapa del modelo digital del terreno de la microcuenca del Río Cuilche.....	51
<b>Figura 10</b> Mapa de dirección de flujo de la microcuenca del Río Cuilche.....	53
<b>Figura 11</b> Mapa de acumulación de flujo de la microcuenca del Río Cuilche .....	54
<b>Figura 12</b> Mapa de delimitación de la microcuenca del Río Cuilche .....	56
<b>Figura 13</b> Curva Hipsométrica .....	63
<b>Figura 14</b> Mapa de pendientes de la microcuenca del Río Cuilche.....	65
<b>Figura 15</b> Porcentaje de formaciones geológicas .....	71
<b>Figura 16</b> Composición litológica de las zonas de estudio .....	71
<b>Figura 17</b> Mapa de estructura de suelo .....	73
<b>Figura 18</b> Mapa de textura del suelo.....	75
<b>Figura 19</b> Relación Funcional entre CE y SDT .....	90

## **Resumen**

El presente proyecto de investigación tiene por objetivo evaluar física, química y geoespacialmente, las condiciones hídricas en las zonas de concesión minera de material pétreo presentes en la Hacienda Ortuño. Para esto se realizó una delimitación de las zonas de estudio respecto a su ubicación, seguido de una caracterización del suelo y del sistema hidrográfico de las mismas, complementado con un análisis físico-químico de agua, para así realizar un pequeño diagnóstico del impacto que la minería podría tener en la calidad de agua de las fuentes hídricas presentes y cercanas a las áreas de estudio. Luego de haber realizado los procedimientos antes mencionados se pudo determinar que las zonas de concesión suman 386,47 Ha, de las cuales 57,6 Ha están anexas a la Hacienda Ortuño, a su vez los tipos de suelo predominantes en la zona son los Inceptisoles y Entisoles, de origen volcánico, con un subsuelo que contiene material pétreo, el cual es apto para la fabricación de materiales de construcción. En cuanto al sistema hidrográfico de las vertientes y quebradas analizadas en la presente investigación pertenecen a la microcuenca del Río Cuilche con concentraciones orgánicas e inorgánicas que cumplen con los criterios de calidad de agua de acuerdo a la Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Acuerdo No 061 y No 097-A para la realización de actividades de: riego agrícola, consumo humano y pecuarias, esto se debe a la inexistencia de contaminación doméstica e industrial en las zonas de estudio, lo cual cambiará luego de la explotación minera viéndose así afectada la calidad de agua.

### **PALABRAS CLAVE**

- **HACIENDA ORTUÑO**
- **ZONAS DE CONCESIÓN MINERA**
- **RÍO CUILCHE**

### **Abstract**

The following research project has as goal evaluated physically, chemically and geospatially the water conditions in the mining concession of stone material areas that are in Hacienda Ortuño. For this, it was carried out a delimitation of the test areas with their respective location, followed by the investigation of the soil characteristics and its hydrographic system, another main point to mention is the physical-chemical analysis of water, resulting of a small diagnosis of the mining impact and how could it affect in the water quality from the water sources mention and close areas. Subsequently finishing the procedures, it can be determinate that the total concession areas are 386.47 hectares, of which 57.6 hectares are attached to the Hacienda Ortuño, the predominant soil types in the area are Inceptisols and Entisols, of volcanic origin, that have a subsoil full of stone material, which has been determined as appropriate for the manufacture of construction materials. In what concerns about the water system of the slopes and streams analyzed in this investigation belong to the Cuilche River micro watershed with organic and inorganic concentrations comply with the water quality criteria according to the Reform of the VI Book of the Unified Text of Secondary Legislation, Agreement No. 061 a No.097-A to make the following activities: agricultural irrigation, human consumption and livestock, this happens because of the absence of the domestic and industrial contamination in the mentioned areas, this something that will change when mining begins, resulting in a change water quality.

### **KEY WORDS**

- **HACIENDA ORTUÑO**
- **MINING CONCESSION**
- **CUILCHE RIVER**

## Capítulo I

### Generalidades

#### Planteamiento del Problema

Los materiales de construcción, como los pétreos, especialmente el cascajo, se ha vuelto de suma importancia debido al incremento de su demanda y a las exigencias sobre su calidad; razón por la que en los últimos años, la explotación de este material se ha incrementado en varias de las provincias del Ecuador con una participación significativa de la provincia de Cotopaxi, lo cual ha provocado el deterioro del: suelo, paisaje y un impacto significativo en la calidad de agua de las zonas seleccionadas para concesión provocando pérdida ambiental (Arguello, 2015).

Debido a lo antes ya mencionado, las obras de infraestructura del gobierno y sector privado han incrementado el consumo de cascajo, para dar origen a materiales de construcción como: bloques, hormigón, mortero, etc., de los cuales se podría prescindir si se fomentara el uso de materiales ecológicos en la construcción como: madera, plástico reciclado, concreto de ceniza, etc. Este aumento en la utilización de materiales pétreos ha provocado un incremento de las zonas de explotación, un claro ejemplo es la ubicación de dos de ellas en la parroquia de San Juan de Pastocalle en la provincia de Cotopaxi, donde se planea la explotación de cascajo.

Al hablar de una explotación minera se debe considerar que esta puede provocar una contaminación en el agua, recurso que es importante en el ecosistema, razón por la cual, la calidad de este se vuelve un tema de preocupación a nivel mundial, no solo por motivos como el desarrollo económico, la calidad de los



ecosistemas hídricos sino también por la salud de las poblaciones (Piedra & Andrade, 2017).

Para la elaboración del proyecto se utilizará el software ArcGis 10.2, una ortofoto, cartografía temática, juntamente con el análisis de 14 parámetros físico-químicos (pH, conductividad, temperatura, sólidos, sulfatos, dureza, cloruro, bicarbonatos, calcio, magnesio, boro, demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno y coliformes fecales), con la finalidad de caracterizar las zonas de estudio, evaluar las condiciones hídricas de las mismas y estimar la existencia de un afectación en la calidad de agua luego de la explotación de material pétreo que se planea realizar en la zonas de estudio.

### **Antecedentes**

De acuerdo con Torres (2014), “La primera explotación minera en Ecuador se remonta a la época preincaica, en Mullumica (Cordillera Real, Napo), entre los años 900-1500 DC”. Las primeras civilizaciones que tuvieron asentamiento en el país extraían de la tierra materiales como la arcilla y el barro para la fabricación de utensilios y posteriormente se dedicaron a la obtención de otros minerales como el oro, utilizado para la fabricación de objetos valiosos (Chang, 2013).

Con el pasar de los años la actividad minera en el país ha aumentado, debido a la demanda de minerales, la ubicación estratégica y el clima privilegiado que posee el Ecuador (Enami, 2012). Según estudios geológicos mineros realizados en el Ecuador, se demuestra que este posee una oferta real significativa, cuantificada de materias primas minerales, cuya presencia se evidencia en la existencia en el subsuelo del país de: petróleo, materias primas para producir diferentes tipos de cerámica, cemento,

rocas ornamentales, mármol, abonos nitrogenados, fosfatados y metales como oro, plata, cobre, zinc, entre otros (Paladines, 2002).

Una de las provincias que se caracteriza por tener variedad de materiales pétreos es Cotopaxi, ya que el suelo de la zona está formado por el sedimento de erupciones volcánicas. El cascajo presente en esta provincia es muy apetecido para la explotación, por sus propiedades físicas, ya que se considera de excelente calidad y apropiado para el uso en obras civiles (J. C. Torres, 2014).

Según Torres (2014), la minería se la relaciona con un enfoque destructivo por las técnicas inadecuadas utilizadas para la explotación, adicionalmente, los controles y regulaciones gubernamentales no garantizan al 100 % una actividad sustentable, es por ello que la explotación de ríos, playas, canteras donde se extrae la grava y la arena con maquinaria pesada, posee graves afectaciones en los cauces de los ríos y en los bosques primarios causando una contaminación ambiental y cambios en la calidad de agua, los cuales son temas que causan inquietud en países de todo el mundo, como se indica en el programa realizado por las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 2016).

### **Justificación del Problema**

El presente proyecto de investigación, se sustenta en el reglamento del régimen especial para el libre aprovechamiento de materiales de construcción y el código orgánico del ambiente los cuales, establecen que para la explotación de los recursos naturales se debe cumplir con los lineamientos del desarrollo sustentable, y la normativa necesaria que permita la aplicación de la ley de minería (MAE, 2017).

En la actualidad, la explotación de recursos naturales es alarmante y ha provocado que el aporte de los ecosistemas en la producción de los bienes y servicios utilizados por el hombre disminuyan. El crecimiento demográfico, la demanda desmedida y mal uso de los recursos naturales han provocado deterioro y disminución de la biodiversidad (JICA, 2013). Este crecimiento poblacional ha incitado a un alza en la tasa de explotación de los recursos en diferentes zonas del país por la demanda de materiales de construcción a bajo costo, con la finalidad de satisfacer la necesidad de vivienda y lugares de desarrollo de la población (Arguello, 2015).

En términos estadísticos, se puede concluir que el sector de la construcción es responsable del 50% de los recursos naturales explotados, del 40% de la energía consumida y del 50% del total de los residuos producidos (Anink et al., 1996).

El uso de suelo en la parroquia de San Juan de Pastocalle ha sido principalmente agrícola, pecuario y de asentamientos humanos, lo cual hace de vital importancia la preservación de los recursos naturales existentes en el entorno, siendo uno de los más significativos el cascajo presente en los suelos de la parroquia (Arenas, 2007).

La importancia del recurso hídrico se ve reflejada en la agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (2015), en la cual el objetivo 3 de los Objetivos de desarrollo sostenible (ODS) promueve: “Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades” y el objetivo 6 que menciona “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”, estos objetivos proponen metas relacionadas a la sostenibilidad, protección, abastecimiento del agua dulce y bienestar del ser humano (ONU, 2015).

En este contexto, la importancia del presente proyecto de investigación radica en la evaluación las condiciones hídricas presente en las zonas de estudio junto con la estimación de la afectación que podría ocasionar la explotación de material pétreo (cascajo), en estas fuentes de agua, mismas que favorecen a las actividades económicas ya antes mencionadas.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Evaluar física, química y geoespacialmente, las condiciones hídricas en las zonas de “Concesión minera de material pétreo” en la Hacienda Ortuño.

### ***Objetivos específicos***

- Ajustar el mapa de delimitación de las áreas de trabajo mediante una ortofoto para tener un mejor manejo de información.
- Caracterizar el sistema hidrográfico de las quebradas: Juaquinca, Iguilla y Pisajucho mediante la aplicación de sistemas de información geográfica para tener más información de los sitios de muestreo.
- Determinar los parámetros físicos del suelo (Estructura, textura) mediante levantamiento de información secundaria para conocer las características que posee el suelo de las zonas de estudio.
- Determinar los parámetros físico-químicos (pH, conductividad, temperatura, sólidos, sulfatos, dureza, cloruro, bicarbonatos, calcio, magnesio, boro, demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno y coliformes fecales) de las fuentes de agua ubicadas en las zonas de estudio mediante un plan de muestro para conocer la calidad de agua que poseen.

## Capítulo II

### Marco Teórico

#### Recursos Naturales

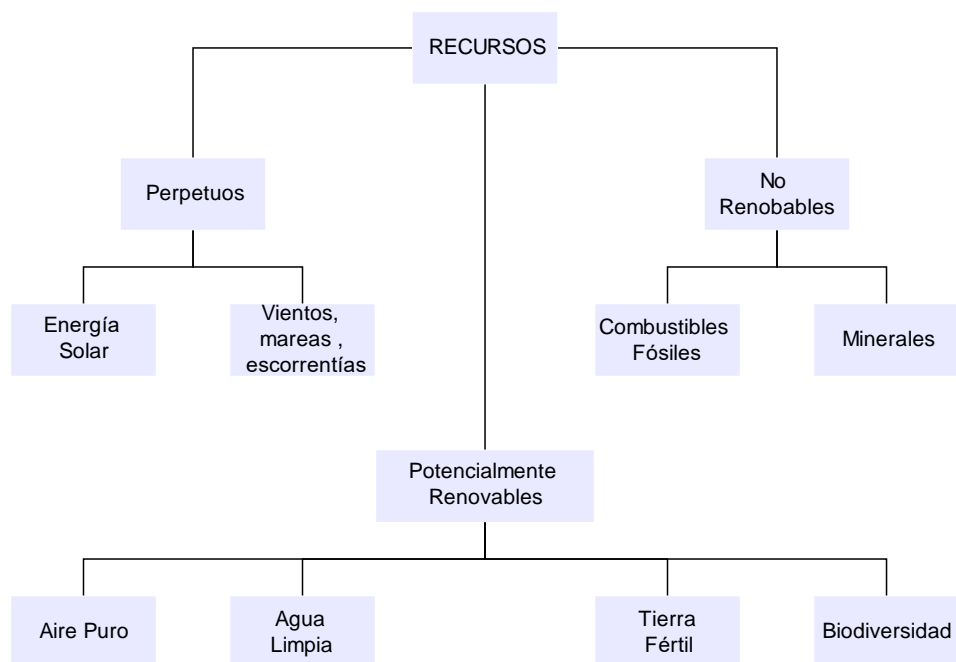
Los recursos naturales se definen como aquellos elementos proporcionados por la naturaleza, ya sean bióticos o abióticos, que pueden proveer los bienes y servicios requeridos por los seres humanos (Chapman & Smith, 1995). Estos cumplen un papel de suma importancia en el abastecimiento de los bienes y servicios que hoy demanda la sociedad y a pesar de ello, se ven sometidos a procesos de degradación que afectan a la vida del planeta (Russo, 2002).

#### ***Clasificación de los recursos naturales***

Junto con el avance de las ciencias ambientales, la economía y la ecología, las clasificaciones de los recursos naturales han cambiado, por lo cual se utilizó la clasificación de Miller (1991) que tiene mayor relación con la situación actual (Ver figura 1), Esto se describe a continuación.

**Figura 1**

*Clasificación de los recursos naturales*



Nota: Recuperado de (Miller, 1991)

## **Suelo**

El suelo es un recurso finito, representa a la cubierta más superficial de la corteza terrestre. Al ser un recurso finito, implica que la pérdida y degradación de este no son reversibles (FAO, 2015). El suelo es una capa formada de componentes naturales de la superficie de la Tierra, contiene materia orgánica e inorgánica y tiene la capacidad de sustentar la vida vegetal, mantiene los edificios, almacena y absorbe agua y proporciona alimentos (Camp & Daugherty, 2000).

El suelo cumple un papel importante en la sostenibilidad de los ecosistemas naturales y agrarios en los que opera como una reserva temporal en el ciclo del agua a la misma que es filtrada y depurada en su camino hacia los acuíferos (FAO, 2015)

### ***Caracterización del suelo***

Las propiedades físicas del suelo importantes, ya que, de ellas depende el desarrollo de las plantas, pero por lo general no se las toma en cuenta ya que suelen considerar a las propiedades químicas de mayor importancia (Ramírez Hernández & Antero Arango, 2014).

- **Pendiente:** Es considerado el factor de mayor importancia debido a que determina la potencial fertilidad que podría tener el suelo y se define como el ángulo entre la superficie del suelo y la horizontal, esto influye en las velocidades de escorrentía de la lluvia, erosión del suelo, etc. (Camp & Daugherty, 2000).
- **Densidad aparente:** Conocida también como la densidad de la fase sólida, es la relación entre el volumen de suelo y la masa, en este volumen se considera todo el espacio poroso presente. Esta característica da una visión de las condiciones que tiene el suelo en relación con: porosidad, oxígeno, compactación y disponibilidad de agua (Ramírez Hernández & Antero Arango, 2014).
- **Densidad real:** Es la relación entre el volumen de suelo y la masa, en este volumen no se considera todo el espacio poroso presente.
- **Textura:** Hace referencia a las proporciones de arena, arcilla y limo del suelo (Camp & Daugherty, 2000), en otras palabras, la textura se conoce como la repartición de las partículas de suelo expresada en porcentaje. La textura varía según el horizonte y se utiliza para representar la composición granulométrica del suelo. Esta propiedad afecta a la velocidad de infiltración del agua, al

drenaje, en el laboreo del suelo, etc (Ramírez Hernández & Antero Arango, 2014).

- **Estructura:** Es la forma en la que se encuentran agregadas las partículas del suelo. Esta propiedad se encuentra ligada a las relaciones de infiltración, aireación, temperatura y humedad del suelo, la estructura afecta a un numeroso grupo de características físicas del suelo sobre todo a la porosidad, la cual permite la circulación del agua.

### ***Clasificación del suelo***

Los suelos se clasifican según diferentes criterios: Textura, composición, usos etc. Por afinidad con el proyecto se ha elegido solo una clasificación y órdenes.

Según FAO (2015), la textura se puede diferenciar tres tipos de suelo:

- **Arenosos:** Suelos sueltos fáciles de trabajar con poca reserva de nutrientes, también son conocidos como suelos ásperos que no manchan la mano.
- **Limosos:** Suelos fértiles y fáciles de trabajar con gránulos de mediano tamaño, son una mezcla de arena fina y arcilla, por lo que tienen la facilidad de retener agua por mayor tiempo.
- **Arcillosos:** Suelos pesados, tienen buena reserva de nutrientes, pero son difíciles de trabajar al estar secos, son fáciles de amoldar, son pegajosos y se puede formar figuras con ellos.

Según MAG (2017), existen 12 órdenes diferenciados por la presencia o ausencia de determinados horizontes. Los 12 órdenes del suelo se muestran en la tabla 1:



**Tabla 1***Órdenes principales del suelo*

<b>Orden</b>	<b>Descripción</b>
Entisol	Determina los materiales inorgánicos; ausencia de horizontes bien definidos; en llanuras de inundación y suelos rocosos.
Vertisol	Suelos arcillosos y oscuros que muestran fracturas anchas y profundas al secarse.
Inceptisol	Textura más fina que la arena margosa; escasa translocación de las arcillas; poco espesor; desarrollo moderado de los horizontes.
Aridisol	Seco durante períodos largos; pobre en humus; rico en base; suele tener horizontes de carbonato, yeso y/o arcilla.
Mollisol	Horizontes superiores de color desde pardo oscuro hasta negro, con una consistencia blanda; rico en base; en regiones semihúmedas.
Espodosol	Horizonte E gris pálido, blanquecino, sobre un horizonte B negro y rojizo, rico en hierro y aluminio que pueden extraerse.
Alfisol	Humus a poca profundidad; translocación de la arcilla; horizontes bien desarrollados.
Ultisol	Con lavado intenso; intensa translocación de la arcilla; pobre en bases; en climas húmedos y cálidos.
Oxisol	Suelos con una meteorización intensa; rojos, amarillos o grises; ricos en caolinita, óxidos de hierro y usualmente también humus; en zonas tropicales y subtropicales.
Histosol	Muy rico en materia orgánica; en zonas de turbera.
Andisol	Desarrollado a partir de materiales volcánicos; con meteorización débil; capas superiores de color oscuro; densidad reducida.
Gelisol	Son suelos de climas muy fríos que se definen como que contienen permafrost a dos metros de la superficie del suelo. El permafrost es una capa o fracción del suelo de espesor y profundidad variable que se encuentra permanentemente helada por debajo de los 0 °C.

Nota: Recuperado de (Smith, 2000)

En el Ecuador, se han determinado 8 órdenes los cuales son: oxisol, histosol, aridisol, vertisol, mollisol, alfisol, entisol e inceptisol.

**Materiales pétreos**

Los materiales pétreos son los materiales naturales o adecuados por el hombre que sirven como materia prima en obras civiles o arquitectónicas. Estos materiales se originan de rocas o derivados de las mismas. Estos materiales se pueden conseguir, ya sea por la explotación en lechos de ríos o canteras (Bañón Blazquez & Beviá García, 2000).

### **Material tipo grava (Cascajo)**

El material tipo grava comúnmente conocido como “Cascajo” es un recurso mineral no metálico, no renovable utilizado en la elaboración de bloques de concreto, principalmente por motivos económicos, aunque este también frena cambios de volumen que pudieran afectar en la duración del concreto (Duhamel, 2007). El cascajo algunas veces se presenta de color café amarillento, no posee una granulometría definida por lo que se acumula con finos, medianos y gruesos, este posee resistencia mecánica (Valle et al., 2011).

La extracción de cascajo en volúmenes excesivos ha creado hoy en día una grave dificultad, ya que ha provocado la destrucción de frezaderos, márgenes de los ríos y arroyos, contaminación de las capas freáticas, desaparición de la vegetación autóctona y deterioro del paisaje, como consecuencia de lo anteriormente expuesto, disminución de la calidad ambiental (Berrocal & Hernández, 2015).

### **Explotación minera**

La explotación minera de productos no metálicos en la actualidad ha aumentado, a pesar de ello esta actividad aún no tiene la trascendencia suficiente para convertirse en la actividad económica primaria en Ecuador, pero si ha provocado graves problemas ambientales, por lo cual se han desarrollado normativas estrictas sobre el impacto que produce (Guerra, 2015).

De acuerdo con la Asociación Geoinnova (2020) entre los impactos más significativos y que tiene relación con el presente proyecto se encuentran la contaminación de las aguas donde se ve afectada la calidad de agua, ya que, se produce un cambio en las propiedades físico-químicas de las mismas, variaciones en el

nivel freático, modificaciones en el flujo subterráneo, esta actividad también se caracteriza por alterar la estructura de drenaje superficial por la formación de oquedades y daños a los viales (Hernández Jatib et al., 2014).

La contaminación en cuerpos de agua por residuos sólidos y vertimientos domésticos e industriales relacionados a esta actividad se hacen presentes y como consecuencia aumenta el contenido de sedimentos y existe una desviación de los cauces de los ríos, lo cual provoca inundaciones, pérdida de cultivos y transformación del paisaje. Este impacto en la mayoría de casos es irreversible (Martínez, 2017).

## **Agua**

De acuerdo con Fernández (2012) , el agua se considera un recurso renovable finito, debido a que cada año se evaporan 505000 km<sup>3</sup> de agua proveniente de los océanos, y a pesar de que esta se vuelve a precipitar no puede ser usada como agua dulce, este recurso es considerado como la fuente y sustento de la vida, pues, si se deja de lado al oxígeno de la atmósfera el agua es el recurso más vital para la humanidad, porque, no existen formas de vida que sean capaces de sobrevivir sin agua (Craig et al., 2007).

El agua, la agricultura, la ganadería y la civilización se encuentran severamente ligadas, desde el inicio de los tiempos. Los seres humanos siempre han intentado mejorar el rendimiento de sus cultivos y la calidad de su ganado y a lo largo del tiempo lo han logrado: regándolos constantemente y mejorando su alimentación respectivamente, de ahí nace la necesidad de asegurar un abastecimiento adecuado tanto para las plantas como para los animales, ya sea en cantidad como en calidad, así

es como el agua se convirtió en una prioridad para las actividades agrícolas y pecuarias (IICA, 2020).

El agua como se ha mencionado con anterioridad es una necesidad vital que influye de manera significativa en la salud, ya que, la calidad de este recurso está ligada a variedad de enfermedades infecciosas y parasitarias a nivel mundial, esto se debe primordialmente a la inexistencia de un acceso apropiado a las fuentes de agua y condiciones de saneamiento (Guzmán et al., 2015).

### **Calidad del agua**

Se define como calidad de agua al grupo de propiedades, ya sean, físicas, biológicas o químicas que forman parte de la composición del agua y la vuelven idónea para los diferentes usos: agrícola, pecuario, consumo humano, etc. El control de calidad para los diferentes usos del agua se lo efectúa mediante: muestreos, procedimientos analíticos y el monitoreo de cuerpos de agua, de los cuales se intenta definir la existencia de alteraciones en las concentraciones físico-químicas y biológicas que suceden en el transcurso del tiempo, todos estos lineamientos se encuentran descritos en la Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Acuerdo No 061 y el acuerdo No 097-A, anexos de la normativa.

### **Criterios de Calidad de Agua**

Se han realizado varias investigaciones sobre la calidad de agua para usos: agrícola, pecuario y consumo humano, con la finalidad de establecer y evaluar ciertos parámetros que permitan calificar las características químicas, físicas y microbiológicas del agua.

En el siguiente estudio se adoptó parámetros propuestos por el ministerio del ambiente en base a la Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Acuerdo No 061 y el acuerdo No 097-A, anexos de la normativa y a la factibilidad de realización de estos por parte del autor del proyecto, quien eligió criterios como: pH, Conductividad, Temperatura, Sólidos, Sulfatos, Dureza, Cloruros, Boro, Bicarbonatos, Magnesio, Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Coliformes fecales.

### ***pH***

El valor de pH es un indicador de acidez o alcalinidad relativa de una solución. La alcalinidad se relaciona con la presencia de carbonatos y bicarbonatos. El límite inferior de pH para el agua potable está determinado por los efectos corrosivos del agua a un pH por debajo de 6,50, mientras que el límite superior se debe al sabor amargo y al efecto de escala del agua por encima de pH 8,50 (Muhammad & Nadeem, 2014).

### ***Conductividad***

La capacidad del agua para conducir corriente eléctrica se denomina conductividad eléctrica (CE). Se usa indirectamente para determinar el total de sólidos disueltos en una muestra de agua. La conductancia de una muestra de agua es directamente proporcional a los sólidos disueltos inorgánicos capaz de disociarse en iones. El valor de la electricidad la conductividad se usa a menudo como un índice del total disuelto materiales en una muestra de agua y está relacionado con los sólidos disueltos totales (SDT) del agua muestra por un factor matemático que depende de la concentración y tipo de iones presentes en la muestra de agua (Muhammad & Nadeem, 2014).

### ***Temperatura***

La temperatura del agua afecta algunas de las propiedades físicas y características importantes del agua: capacidad térmica, densidad, peso específico, viscosidad, tensión superficial, conductividad específica, salinidad y solubilidad de gases disueltos, etc. Las velocidades de reacción química y biológica aumentan con el aumento de la temperatura. Por lo general, se supone que las velocidades de reacción se duplican para un aumento de la temperatura de 10 °C (Ramesh, 2017).

### ***Sólidos disueltos totales***

El Sólidos disueltos totales (SDT) consiste en iones constituyentes de sales inorgánicas que determinan el comportamiento salino de la corriente de agua y también una pequeña cantidad de materia orgánica que se puede disolver en agua (Heydari & Bidgoli, 2012). Un SDT más alto causa efectos adversos cambio en el sabor del agua y tampoco es bueno para el metal de las tuberías utilizadas para el transporte de agua dentro de los hogares (Rao & Ranganathan, 2013).

### ***Sulfatos***

El sulfato es un componente del yeso y otros minerales, es descargado en corrientes de agua debido a la lixiviación de estos depósitos minerales y de desechos industriales (Muhammad & Nadeem, 2014). El aumento de la concentración de los aniones sulfatos, por un lado, produce cambios en algunas características físicas del agua (sabor, olor, etc.), por otro lado, tiene una influencia destructiva sobre el consumo humano (Ramesh, 2017).

### **Dureza**

El término "dureza" explica una propiedad del agua que evita la formación de espuma cuando el jabón se mezcla con agua y también aumenta el punto de ebullición de esta debido a las fuerzas de atracción entre las moléculas y los iones. La dureza se debe a la presencia de sales de calcio y magnesio, es decir, que en una muestra este parámetro fluctúa dependiendo de la concentración de iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ . El uso de agua con alta dureza provoca asfixia en las tuberías de suministro, calcificación de las arterias, trastornos renales y estomacales (Muhammad & Nadeem, 2014).

### **Cloruro**

La concentración de los aniones cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) determina la calidad del agua porque esta empeora después de aumentar la concentración de estos aniones, lo que limita las posibilidades de utilizar el agua natural para diferentes propósitos (hogar, agricultura, industria, etc.). La fuente principal de los aniones cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) en el agua natural son las formaciones de rocas magmáticas que incluyen minerales con contenido de cloro. De la atmósfera, los aniones cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) entran en el agua natural como resultado de la interacción entre la precipitación y el suelo (Ramesh, 2017). El cloruro juega un papel importante en la determinación de la salinidad de una corriente de agua (Muhammad & Nadeem, 2014).

### **Boro**

El boro se encuentra principalmente en aguas naturales como ácido bórico no disociado con algunos iones de borato. Este elemento en el agua puede ser absorbido por los suelos y sedimentos. Se espera que las reacciones de adsorción-desorción sean el único mecanismo significativo que influya en el destino del boro en el agua (Rai

& Zachara, 1984). El grado de adsorción de boro en suelos y sedimentos depende del pH del agua y la concentración de boro en solución. La mayor adsorción se observa generalmente a pH 7,5-9,0 (Waggott, 1969).

### ***Bicarbonatos***

El sistema carbonato - bicarbonato en aguas naturales es considerado como el sistema químico de mayor importancia. El sistema de carbonato proporciona la capacidad de amortiguación esencial para mantener el pH de los sistemas de agua natural en el rango requerido por las bacterias y otras especies acuáticas (Ramesh, 2017).

### ***Calcio***

Los iones de calcio son un componente importante de las rocas ígneas. Los iones de calcio tienen la capacidad de impartir un agradable sabor edulcorante al agua, pero un aumento de la concentración por encima del límite recomendado puede causar trastornos estomacales y, a escala doméstica, también puede formar un depósito calcificado dentro de las tuberías de suministro de agua y dificultar el flujo de agua. La concentración de calcio en el agua está directamente relacionada con su dureza (Muhammad & Nadeem, 2014).

### ***Magnesio***

El magnesio es un componente principal de la dureza del agua, es esencial para el crecimiento del fitoplancton y cumple un papel significativo en la fotosíntesis, lo cual, lo convierte en un químico muy importante constituyente del agua (Jadhav et al., 2013). Los iones de magnesio sirven como cofactores para la función de varias enzimas involucradas en la regulación de actividades bioquímicas dentro del cuerpo humano.



### ***Demanda Biológica de Oxígeno***

La demanda biológica de oxígeno (DBO), el parámetro más utilizado, es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por la población microbiana en el agua en respuesta a la introducción de material orgánico degradable. Este parámetro depende de las características del agua: dilución, nutrientes esenciales (N, P, K, Fe, etc.) y semillas de bacterias. La DBO de 5 días (DBO5) es la más utilizada. La DBO5 del agua natural está relacionada con la concentración de oxígeno disuelto, que se mide a tiempo cero y después de 5 días de incubación a 20° C. La diferencia es el oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica (Ramesh, 2017).

### ***Demanda Química de Oxígeno***

La prueba de demanda química de oxígeno (DQO) del agua natural produce el equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse mediante un agente oxidante químico fuerte en un medio ácido (Ramesh, 2017).

### ***Coliformes fecales***

Las bacterias coliformes fecales son las bacterias naturales que se encuentran en los extractos digestivos de la mayoría de los animales. Estos organismos beneficiosos ayudan en la digestión, convirtiendo ciertas fibras y compuestos no digeribles en compuestos nutritivos. Mientras permanezcan dentro del canal alimentario, estas bacterias son inofensivas para su huésped. Las bacterias coliformes fecales se eliminan junto con los excrementos, y pueden colonizar otros individuos o incluso especies diferentes a su huésped original (Minor, 2007).

Las infecciones por bacterias coliformes fecales de un cuerpo extraño generalmente no son fatales, aunque los síntomas graves pueden causar la muerte. Dos a cuatro días después de la infección por bacterias coliformes fecales, surgen síntomas como diarrea, calambres estomacales, dolores de cabeza y fiebre. Los antibióticos pueden tratar con éxito las infecciones por coliformes fecales, aunque existe cierta preocupación de que se desarrollen cepas de bacterias coliformes fecales resistentes a los antibióticos (Minor, 2007).

### **Cuencas Hidrográficas**

Una cuenca hidrográfica, también llamada cuenca de drenaje o área de captación, se define como un área en la que toda el agua que fluye hacia ella va a una salida común. Desde el punto de vista hidrográfico, las diferentes fases del ciclo hidrográfico en una cuenca dependen de las diversas características naturales y actividades humanas. La cuenca hidrográfica no es simplemente la unidad hidrológica sino también una entidad sociopolítica y ecológica que desempeña un papel crucial en la determinación de la seguridad alimentaria, social y económica y proporciona servicios de soporte vital a la población rural (Wani & Garg, 2008).

### ***Clasificación de Cuencas Hidrográficas***

Según Vision (2004): Las cuencas hidrográficas se clasifican en cuatro tipos según el escurrimiento: Arreicas, criptorreicas, endorreicas y exorreicas, clasificación que se encuentra detallada en la tabla 2.

**Tabla 2***Clasificación de cuencas según el escurrimiento*

<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
Arreicas	No drenan un río, lago o mar, sus aguas se pierden por infiltración o evaporación, no forman escurrimiento subterráneo.
Criptorreicas	La red de drenaje superficial no posee un sistema organizado y corren como ríos subterráneos.
Endorreicas	Sus aguas drenan a un embalse o lago sin llegar al mar.
Exorreicas	Las vertientes conducen las aguas a un sistema mayor de drenaje como un gran río o mar.

Nota: Recuperado de (Vision, 2004)

De acuerdo con Aguirre (2007), Las cuencas hidrográficas se clasifican en cinco tipos según el área: Sistema hidrográfico, cuencas, subcuencas, microcuencas y minicuencas clasificación que se encuentra detallada en la tabla 3.

**Tabla 3***Clasificación de cuencas según el área en el Ecuador*

<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
Sistema hidrográfico	Más de 300000 Ha
Cuencas	60000 – 300000 Ha
Subcuencas	15000 – 100000 Ha
Microcuenca	4000 – 15000 Ha
Minicuenca	< 4000 Ha

Nota: Recuperado de (Aguirre, 2007)

**Ortofoto**

La ortofoto es una imagen fotográfica del terreno, con distorsiones planimétricas ya eliminadas causadas usualmente por la inclinación de la cámara aérea y el desplazamiento del relieve (Guitierrez, 2019).

De acuerdo con Gutiérrez (2019), la ortofoto puede tener varios usos según el campo en el que se aplique:

- En la geomorfología y geología: Sirve como base cartográfica para el estudio de áreas determinadas.
- En la hidrología: Sirve para la planificación de uso de sistemas hídricos y la construcción de obras civiles para optimizar el uso del suelo.
- En la minería: Suele utilizarse en la fase de exploración de los yacimientos mineros, aprovechando especialmente la ortofoto color infrarrojo.

## **Mapas**

Se define a los mapas como documentos que tienen la finalidad de transmitir información gráfica y métrica de la Tierra o parte de ella, mediante símbolos gráficos como: puntos, líneas, polígonos los cuales se encuentran ubicados sobre la superficie terrestre por medio de un sistema de coordenadas bidimensional e identificados por atributos como nombres, cantidades, etc (Dávila, 2009).

## **Sistemas de información geográfica**

De acuerdo Dueker & Kjerne (1989), se define a los sistemas de información geográfica (SIG) como el sistema de hardware, software, datos, personas, organizaciones y acuerdos institucionales para recopilar, almacenar, analizar y diseminar información acerca de diferentes porciones de la superficie terrestre.

## Capítulo III

### Metodología

#### Descripción de las áreas de estudio

De acuerdo con GAD parroquial de San Juan de Pastocalle (2018), las zonas de estudio se encuentran localizadas en la Hacienda Ortuño, Parroquia de San Juan de Pastocalle, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi. Debido a las fuertes erupciones ocurridas en el pasado por las tres masas volcánicas cercanas a la parroquia: Volcán Iliniza, Volcán Santa Cruz y Volcán Cotopaxi, existe notable presencia de conformación de cascajo y sedimentos de ceniza volcánica, esta es la razón por la que todo el suelo del sector tiene esta característica. Al Norte limita con la provincia de Pichincha y los nevados de los Ilinizas, Al Sur con la Parroquia Tanicuchí, al Occidente con la parroquia Toacaso, al Oriente con la parroquia Mulaló y predios del Parque nacional Cotopaxí. Existen 3 zonas climáticas en la parroquia: Ecuatorial de alta montaña (área: 10560 Ha; altura: sobre 3000 msnm), Ecuatorial mesotérmico semi-húmedo (área: 2993 Ha, altura: 3000-3200 msnm) y Glacio-nival (área: 85,68 Ha; altura: 3500 msnm), la temperatura se encuentra entre los 6 y 12°C. En la parroquia de Pastocalle por su altitud y formaciones vegetales, las precipitaciones anuales varían en un rango de 500 – 1500 mm en los meses de enero-mayo y septiembre-noviembre, Las coordenadas de referencia de las zonas de concesión se encuentran especificadas en la Tabla 4 y suman un área de 386,47 Ha como se muestra en la figura 2.

Figura 2

Mapa de ubicación de las zonas de estudio

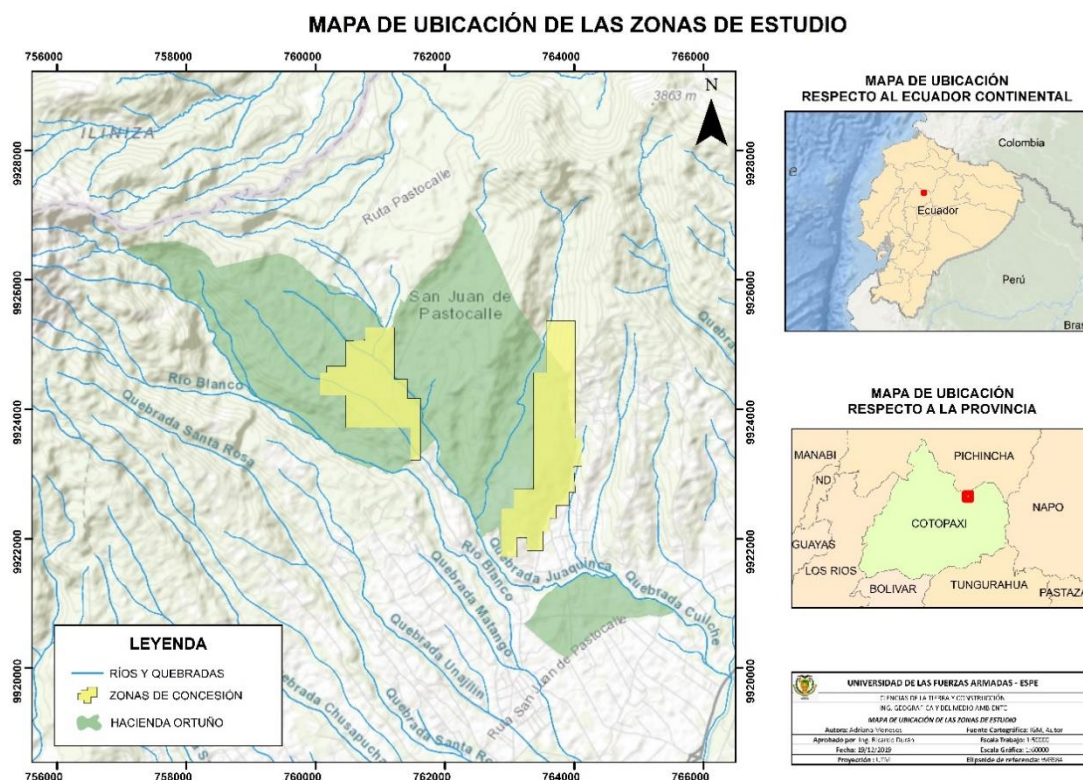


Tabla 4

Coordenadas Zonas de estudio

Zona	E (m)	N (m)
Z1	760842,602	9924379,560
Z2	763721,024	9923551,530

### Delimitación de las áreas de estudio

La delimitación de las áreas de estudio se la realiza con ayuda de una ortofoto para mejorar la identificación de esta y de su entorno, también se utiliza información obtenida de distintas fuentes bibliográficas las cuales se muestran en la Tabla 5:

**Tabla 5**

*Información y fuentes bibliográficas de las zonas de estudio*

<b>Información</b>	<b>Escala</b>	<b>Fuente</b>
Shape de las zonas de concesión	1:50000	AGROMAPS
Shape de los límites de la hacienda	1:50000	AGROMAPS
Ortofoto de la zona	1:5000	SIG TIERRAS

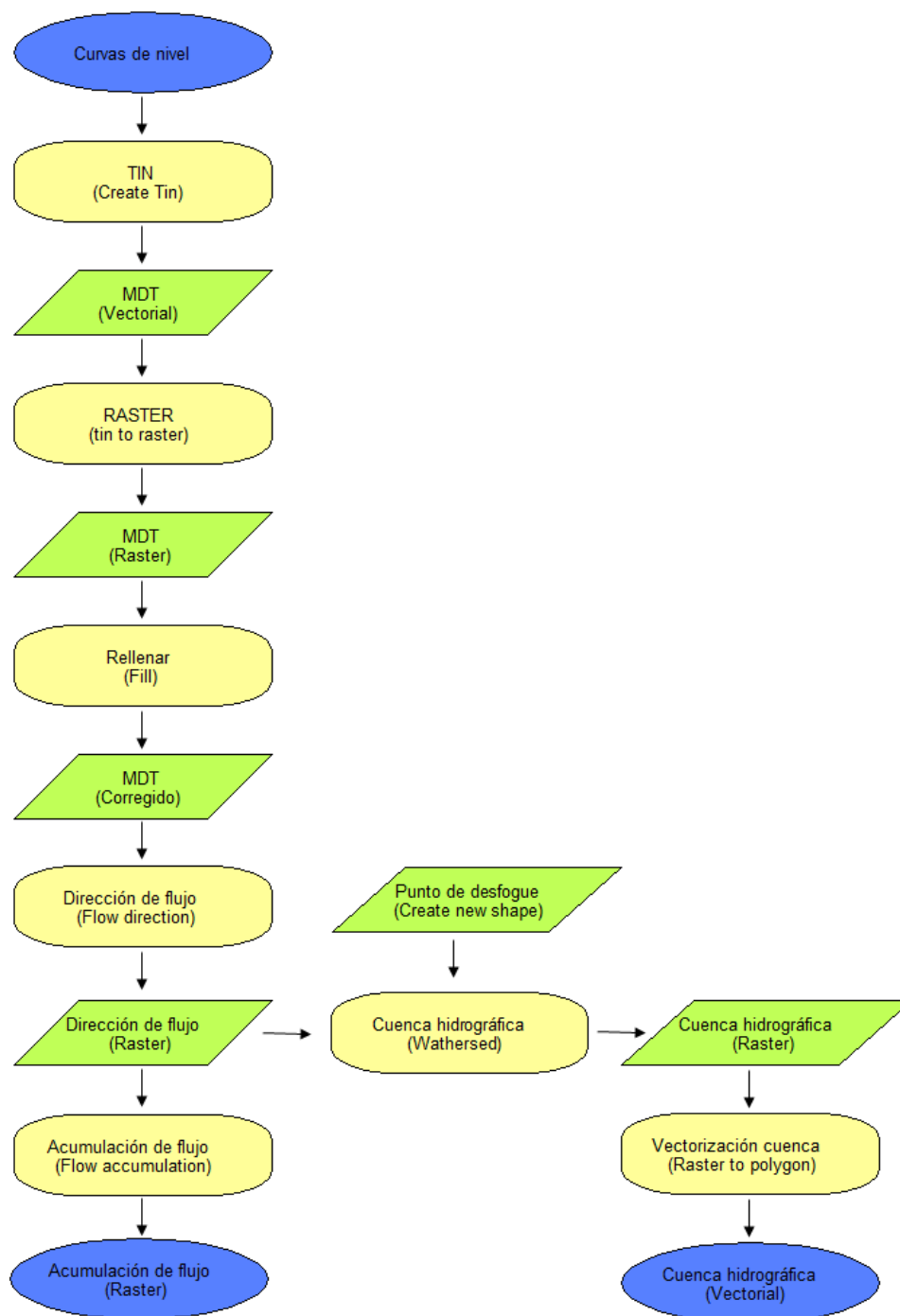
### **Caracterización del sistema hidrográfico**

#### ***Delimitación de la Microcuenca***

La delimitación de la microcuenca se la realiza en el software ArcGis 10.2 con las curvas de nivel pertenecientes a las cartas topográficas de Machachi y Mulaló (escala 1:50000) obtenidas del Geoportal del IGM, esta metodología se encuentra esquematizada en el diagrama de la figura 3.

**Figura 3**

*Diagrama de metodología para la delimitación de la microcuenca*





### ***Propiedades Morfométricas***

Las propiedades morfométricas de la microcuenca y de la red hídrica de la misma se generan con el software ArcGis 10.2, en el cual se determinan parámetros como: superficie, perímetro, longitud, pendiente promedio y alturas características de la microcuenca, también longitud del cauce principal, pendiente promedio, orden y longitud de la red hídrica, estos parámetros se obtienen a partir del modelo digital del terreno (MDT), obtenido en la delimitación de la microcuenca. Todos estos datos fueron necesarios para obtener más características de esta, las cuales explican con más detalle en la sección 4.2.2.

### **Caracterización del suelo**

La caracterización del suelo, subsuelo y capa freática de las zonas de estudio, así como la generación de mapas de textura y estructura de este, se la realiza mediante levantamiento de información secundaria, la misma que fue obtenida de distintas fuentes bibliográficas entre ellas: el Plan de ordenamiento territorial de la parroquia de San Juan de Pastocalle y el proyecto de titulación “Estudio de las fuentes de material pétreo de la mina de Mulaló, Salcedo y la Maná; provincia de Cotopaxi y su utilidad en la construcción de obras viales” de Liliana Torres (2011) . Los shapes utilizados para la generación de mapas se muestran en la Tabla 6.

### **Tabla 6**

*Información y Fuentes bibliográficas de textura y estructura de suelo*

<b>Información</b>	<b>Escala</b>	<b>Fuente</b>
Shape de Textura Sierra	1:50000	SIGAGRO
Shape de Taxonomía Sierra	1:50000	SIGAGRO

## Muestreo y Análisis de agua

### ***Muestreo***

El muestreo se lo realiza en las tres quebradas que se encuentran ubicadas dentro de las zonas de estudio: Juaquinca, Iguilla y Pisajucho, juntamente con 3 vertientes cercanas (Ver figuras 14-15), que a pesar de estar fuera de las zonas de concesión fueron consideradas debido a la importancia para la hacienda, ya que, estas fuentes de agua son utilizadas para la ganadería y agricultura, base económica de la hacienda y a la vez se cree que pueden verse afectadas luego de la explotación minera.

El muestreo se lo realiza de forma puntual en cada una de las vertientes antes mencionadas al igual que en las quebradas, ya que, al ser utilizadas para las diversas actividades de la hacienda, se encuentran entubadas, razón por la cual se tomaron las muestras de acuerdo a la accesibilidad. La descripción y coordenadas geográficas de los puntos considerados en el muestreo se encuentran detalladas en la Tabla 7 y las figuras 4 y 5, se muestran los puntos de muestreo.

**Tabla 7**

*Coordenadas de los puntos de muestreo de agua*

No de Punto	Descripción	Coordenadas	
		N	E
1	Quebrada de Juaquinca	9924422	760247
2	Quebrada de Iguillán	9924859	760807
3	Quebrada de Pisajucho	9925287	763612
4	Vertiente 9	9924099	759899
5	Vertiente 10	9923609	760310
6	Vertiente 11	9923580	763194
7	Canal de Agua (Quebrada de Juaquinca)	9925125	759540

Figura 4

Mapa de puntos de muestro ubicados en la primera zona de concesión

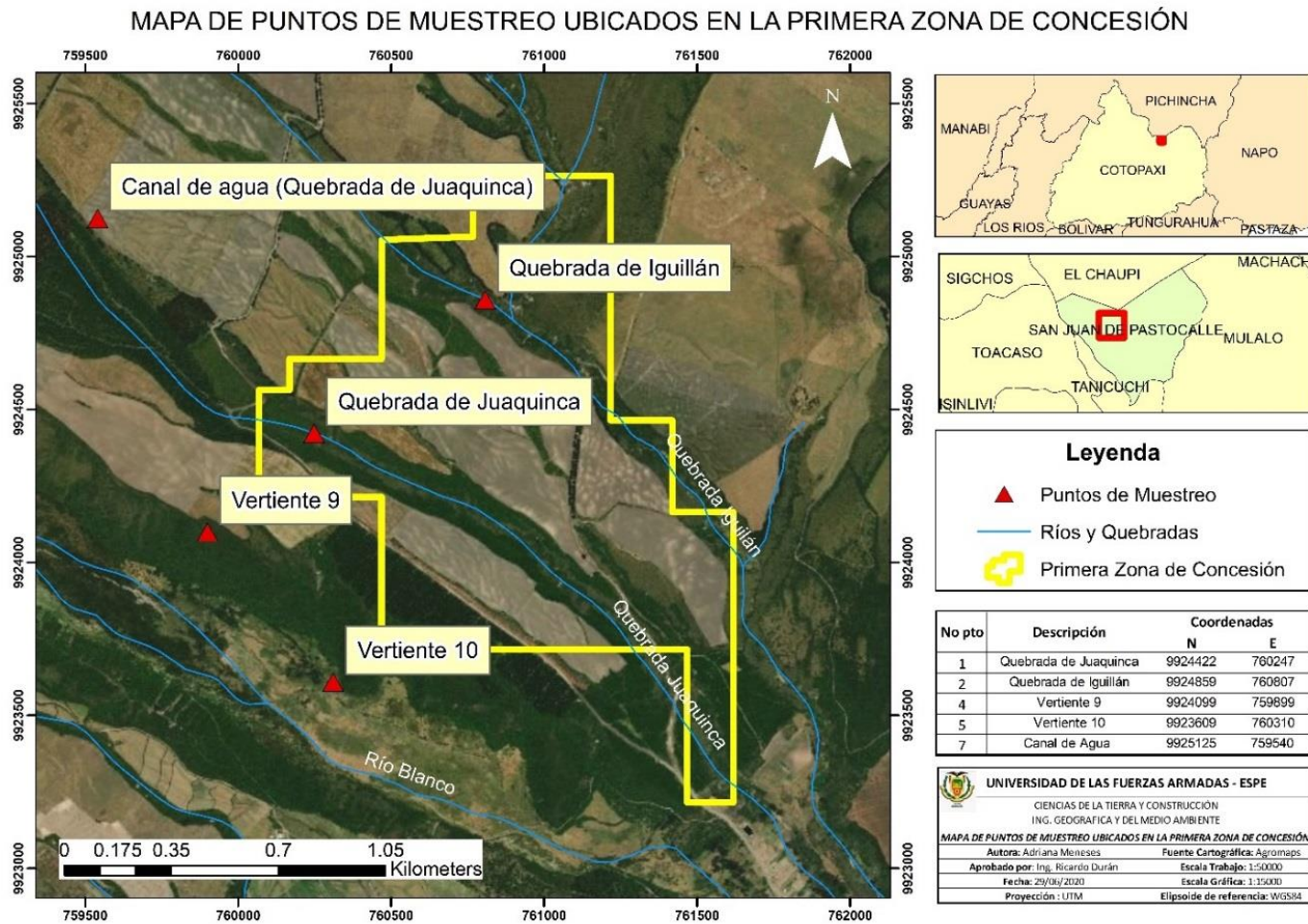
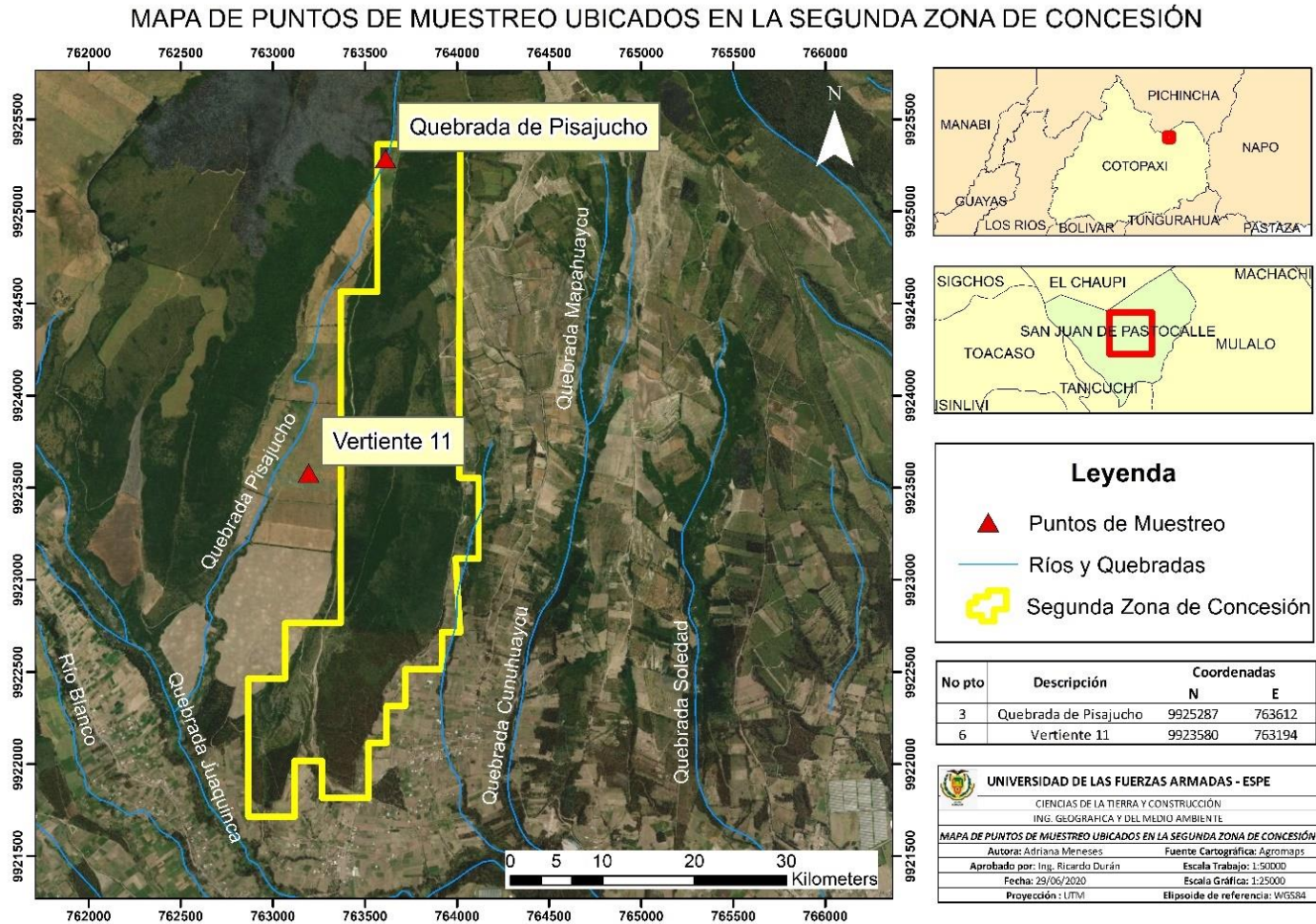


Figura 5

Mapa de puntos de muestro ubicados en la segunda zona de concesión



El muestreo se lo realiza según lo establecido en la: Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2-176 (Agua. Calidad del agua. Muestreo. Diseño de los programas de muestreo) Y Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2-169 (Agua. Calidad del agua muestreo. Manejo y conservación de muestras) para la toma y preservación de las muestras tomadas en campo, considerando los recipientes de almacenamiento, tiempo de conservación y temperatura de la muestra con la finalidad de evitar variaciones en los resultados de los análisis.

### ***Método de Análisis***

Para el análisis de las muestras de agua se analizan 14 parámetros, los cuales se seleccionaron dependiendo a la disponibilidad de equipos y reactivos del laboratorio de Medio Ambiente de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE). Los parámetros, normativa de referencia y metodología se encuentran detallados en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Métodos Estándares para análisis de agua*

<b>Parámetro</b>	<b>Método/Equipo</b>	<b>Norma de Referencia</b>
pH	Multiparamétrico HANNA HI 9811-5 pH/conductividad/temperatura/TDS	(HANNA,2000)
Conductividad	Multiparamétrico HANNA HI 9811-5 pH/conductividad/temperatura/TDS	(HANNA,2000)
Temperatura	Multiparamétrico HANNA HI 9811-5 pH/conductividad/temperatura/TDS	(HANNA,2000)
Sólidos	Multiparamétrico HANNA HI 9811-5 pH/conductividad/temperatura/TDS	(HANNA,2000)
Sulfatos	Espectrofotometría/ Espectrofotómetro Hach DR5000	(HACH,2000) Método 8051

<b>Parámetro</b>	<b>Método/Equipo</b>	<b>Norma de Referencia</b>
Dureza	Dureza, volumétrico/ titulación EDTA 0.01 M/negro de Eriocromo	(APHA, 1998) Método 2340C
Cloruros	Titulación con nitrato de plata 0,0191 N, indicador: Dicromato de Potasio	(NTE INEN 0976, 1984)
Bicarbonatos	Volumétrico, titulación con ácido sulfúrico 0,02 N, indicador: Fenolftaleína/ Naranja de Metilo	(EPA. 1983) Método 310.1
Calcio	Volumétrico, titulación EDTA 0,01 M/ indicador Murexida	(APHA, 1998) Método 3500-Ca-B
Magnesio	Magnesio: método por cálculo	(DINAMA, 1996) Código 12101
Boro	Espectrofotometría/ Laboratorio acreditado	(APHA, 1998) Método 45000 B C
DBO	Hach BOD Trak/ Método de Winkler	(APHA, 1998) Método 5210B
DQO	Espectrofotometría/ Espectrofotómetro Hach DR5000	(HACH, 2000)
Coliformes Fecales	Método filtro de membrana	(APHA, 1998) Método 9222D

## Capítulo IV

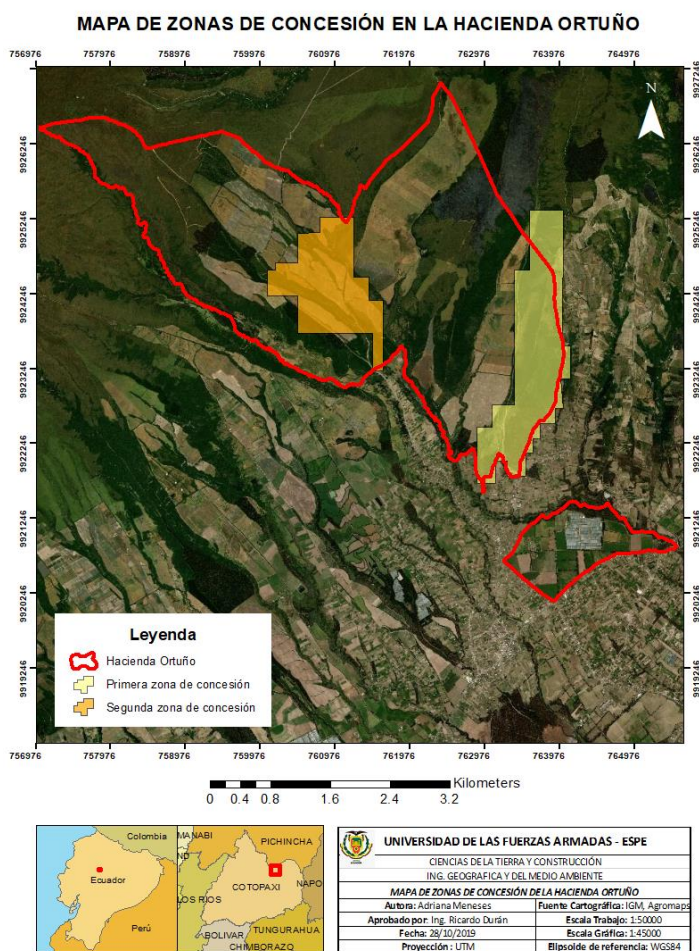
### Resultados

#### Delimitación de las áreas de estudio

En la figura 6 se puede apreciar el mapa de delimitación de las áreas de estudio obtenido con la ayuda de una ortofoto y los diferentes shapes mencionados en la metodología.

#### Figura 6

*Mapa de delimitación de las zonas de estudio*

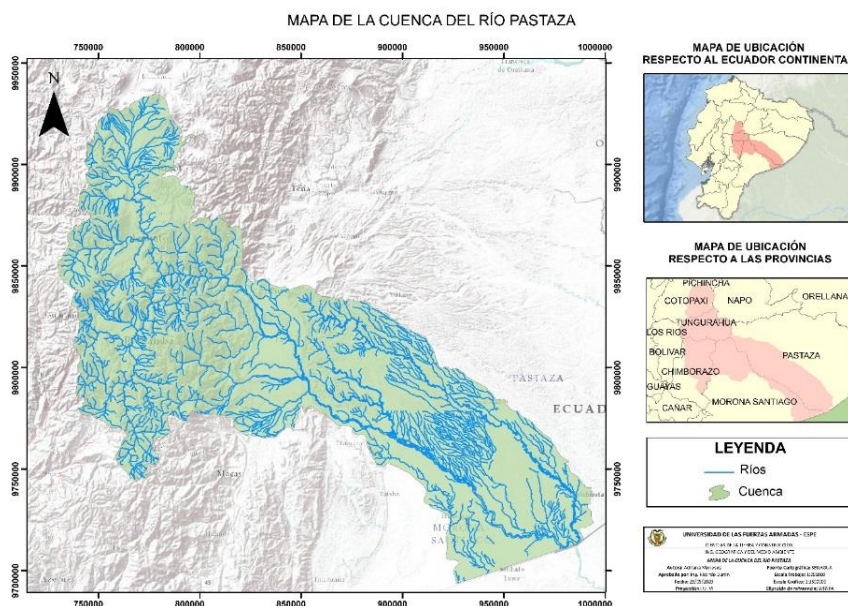


## Caracterización del sistema hidrográfico

El proyecto está realizado en el sistema hidrográfico del Río Cuilche, el mismo que se encuentra ubicado en la provincia de Cotopaxi, parroquia de San Juan de Pastocalle, pertenece a la cuenca del río Pastaza, la cual se sitúa en la vertiente amazónica del Ecuador y parte de ella en Perú. El río Pastaza nace al pie del volcán Tungurahua, como resultado de la unión de los ríos Chambo y Patate. Esta cuenca atraviesa las provincias de Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo en la cuenca alta y Pastaza, Morona Santiago en la parte baja de la Cuenca (Rivadeneira, 2010) citado en Yépez (2015), como se puede ver en la figura 7.

### Figura 7

Mapa de la Cuenca del Río Pastaza



La cuenca del Río Pastaza posee un total de 19 subcuencas, las mismas que se muestran en la tabla 9. El sistema hidrográfico de las zonas de estudio pertenece a la Sub-cuenca “Río Patate”, conocido como uno de los principales afluentes del río



Pastaza, esta subcuenca se encuentra ubicada en el sector noroccidental de la cuenca, con una extensión aproximada de 4280,19 km<sup>2</sup> (Lema & Plaza, 2006) citado en Yépez (2015),

**Tabla 9**

*Sub-cuencas del río Pastaza*

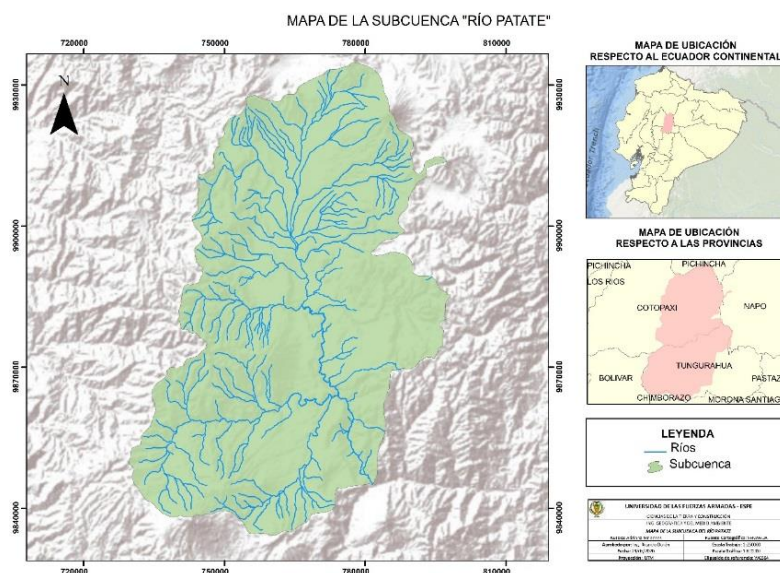
SUB-CUENCA	Km <sup>2</sup>	SUB-CUENCA	Km <sup>2</sup>
Río Patate	4280,19	Río Cotopaza	1060,2
Río Conambo	3639,07	Río Llushiño	854,56
Río Chambo	3589,55	Río Chiguaza	736,46
Río Pinotoyacu	3516,67	Río Ishpingo	689,34
Áreas Menores	3348,2	Río Topo	441,32
Río Bonanza	3131,18	Áreas Menores	424,71
Río Chundayacu	1783,26	Río Muyo	223,59
Río Huasaga	1472,41	Áreas Menores	133,36
Río Palora	1450,7	Río Verde	131,35
Río Corrientes	1069,93		

*Nota:* Recuperado de (Yépez, 2015)

En la Figura 8 se muestra el mapa de ubicación de la subcuenca del río Patate:

**Figura 8**

*Mapa de la Cuenca Río Patate*



El sistema hidrográfico de las zonas de estudio se encuentra ubicado en la microcuenca “Río Cuilche”, para delimitarla y conocer sus propiedades morfométricas se utiliza el software ArcGis 10.2.

### **Delimitación de la Microcuenca**

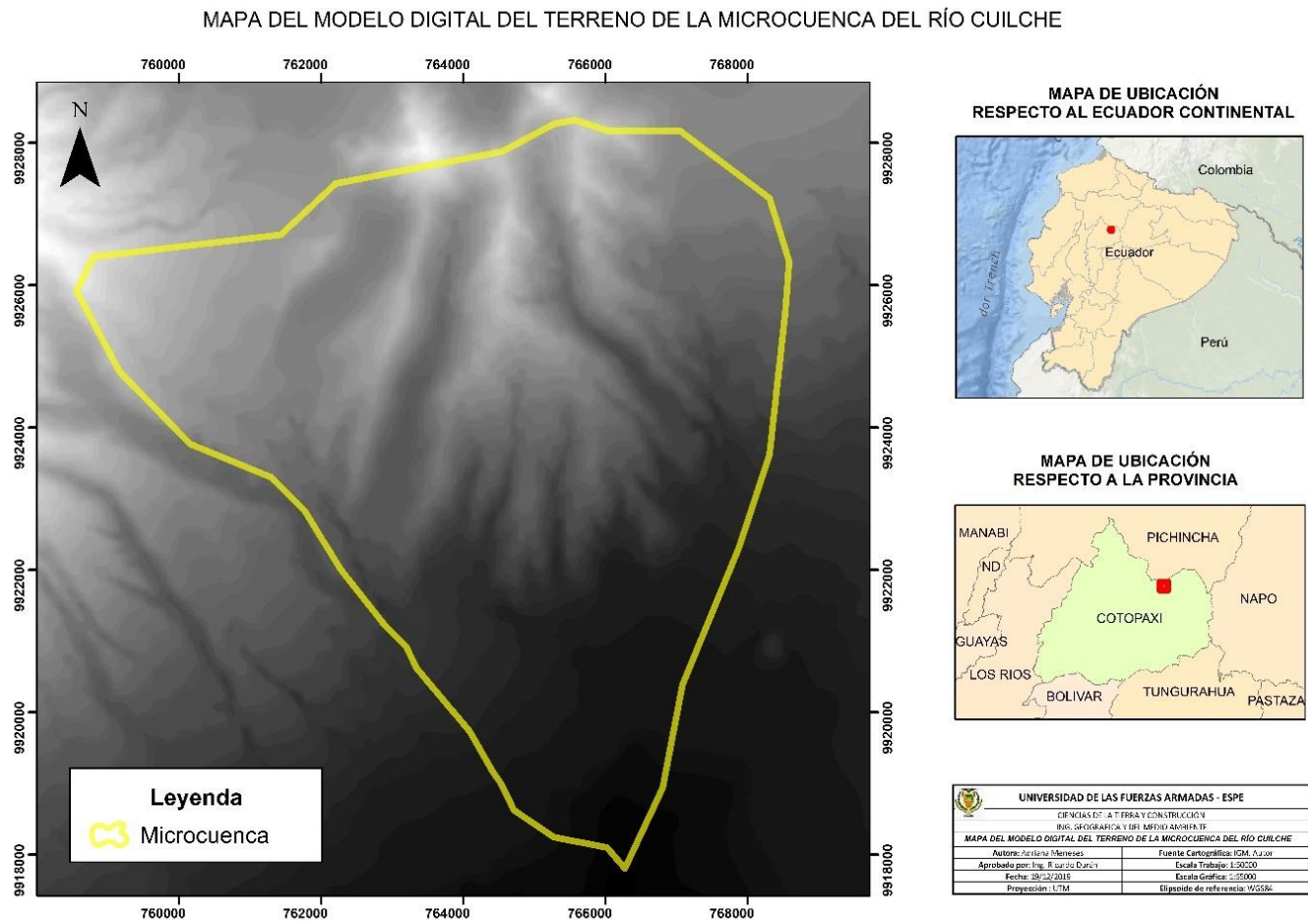
#### ***Creación del Modelo digital del terreno***

En la etapa de obtención de datos se obtiene como resultado un modelo digital del terreno (MDT) con 16,66 m de resolución, las zonas vacías, picos y sumideros dispersamente distribuidas sobre la superficie, se corrigen con la finalidad de evitar direcciones de flujo indefinidas y valores erróneos en la suma de acumulación de flujo (Jumbo, 2015).

La figura 9, muestra el modelo digital del terreno (MDT) obtenido a partir de las curvas de nivel de cercanas al Río Cuilche:

**Figura 9**

*Mapa del modelo digital del terreno de la microcuenca del Río Cuilche*



### ***Dirección de flujo y Acumulación de flujo***

Se obtiene la dirección de flujo a partir del modelo digital del terreno (MDT) optimizado, cuyo resultado fue un ráster con valores enteros que varían entre 1 - 194, sobre este fue generado el mapa de acumulación de flujo.

Con la acumulación de flujo se definen celdas que drenan hacia otra celda, la misma que se encarga de almacenar el valor de la acumulación, el cual se sitúa aguas abajo, lo que permite determinar la cantidad de agua que recibe. Las celdas que poseen la mayor acumulación de flujo son las que identifican los principales ríos de la cuenca (Jumbo, 2015).

En la figura 10, se puede apreciar el mapa de dirección de flujo de la microcuenca del Río Cuilche. Cada una de las celdas contiene el valor de dirección hacia su vecino con una pendiente máxima, la dirección de flujo fue generada partiendo del modelo digital del terreno (MDT) corregido en el proceso ya antes mencionado.

En la figura 11, se puede apreciar el ráster de acumulación de flujo, el cual fue generado a partir de la dirección de flujo.

Figura 10

Mapa de dirección de flujo de la microcuenca del Río Cuilche

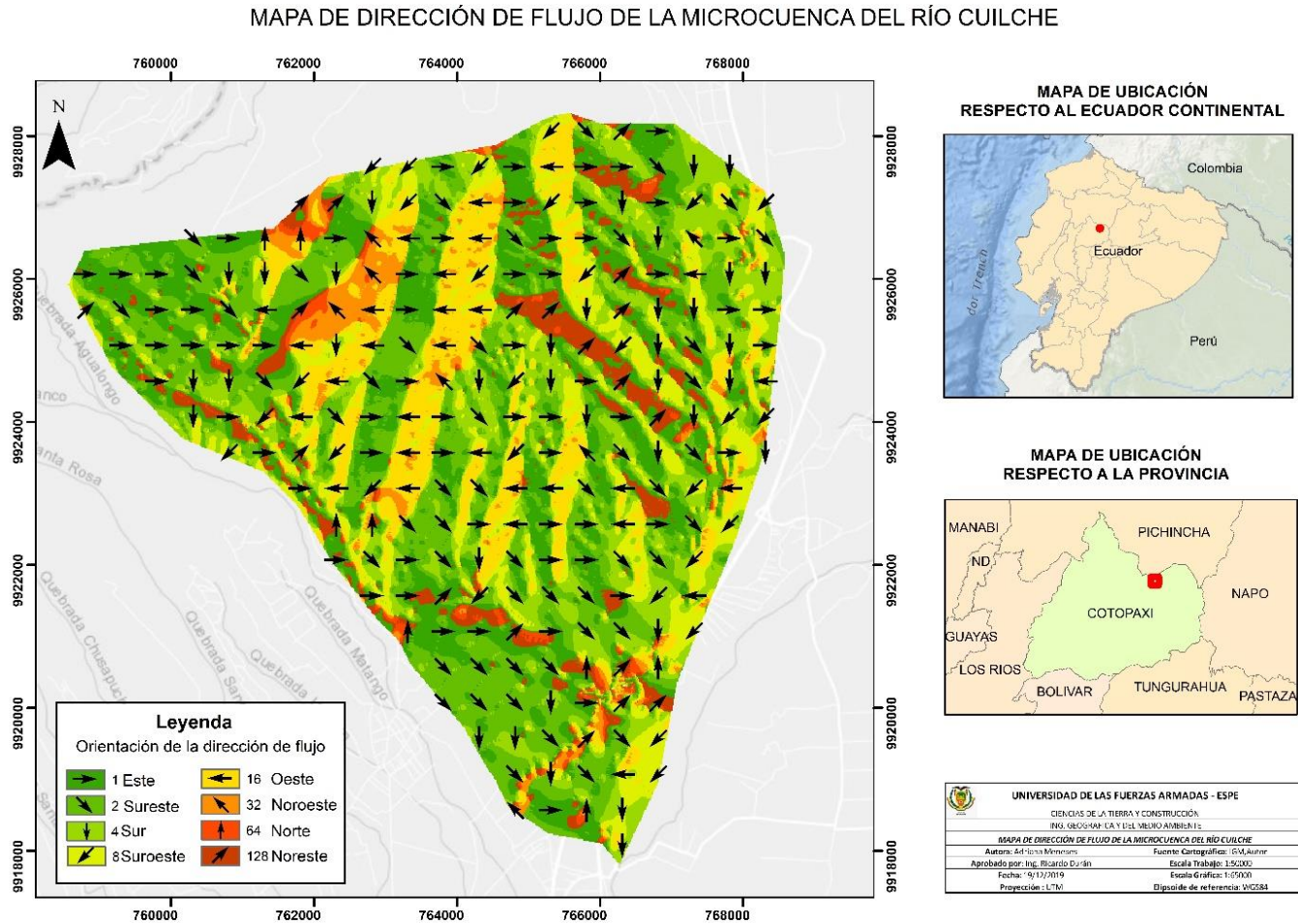
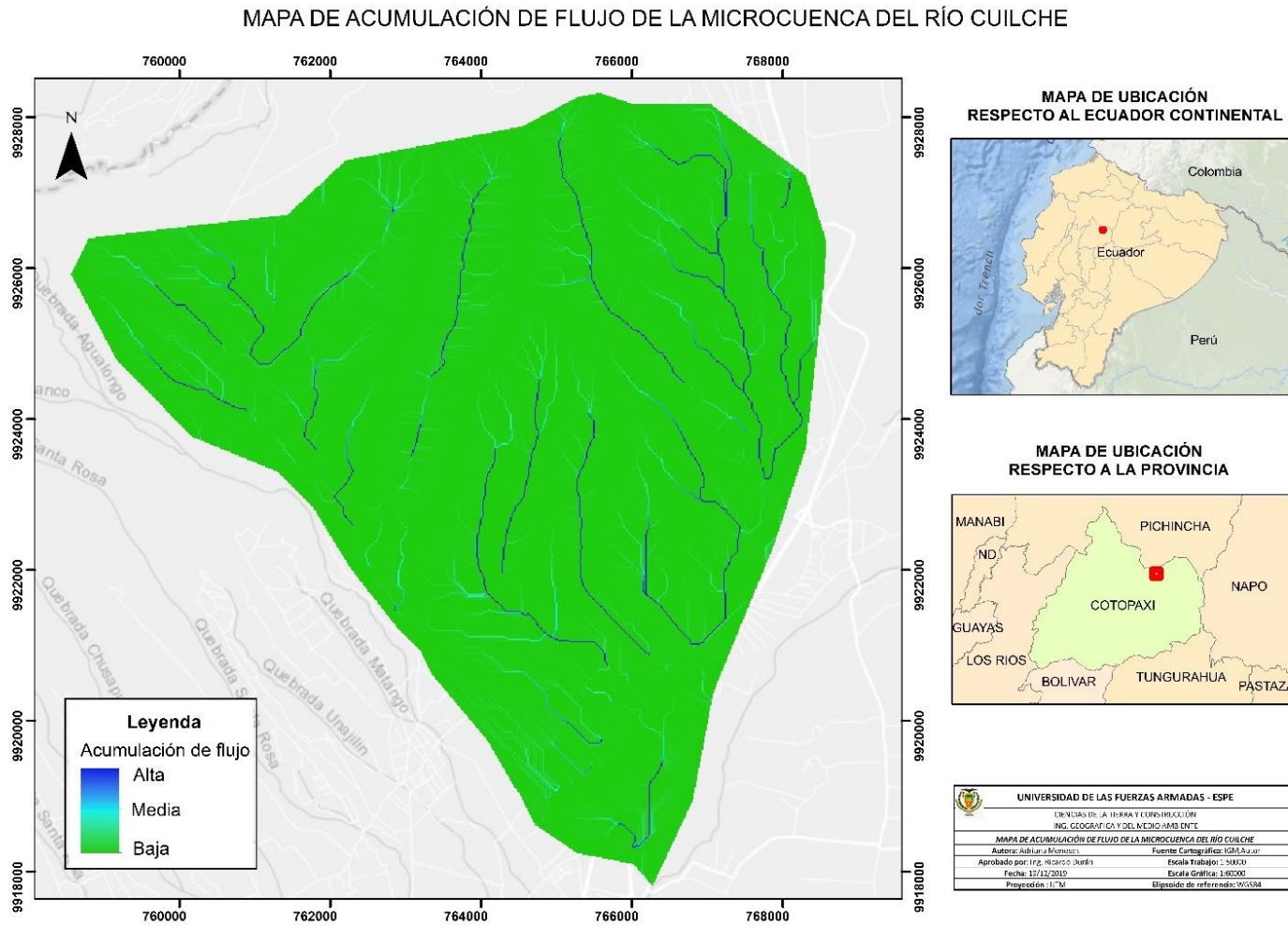


Figura 11

Mapa de acumulación de flujo de la microcuenca del Río Cuilche



### ***Generación y vectorización de las cuencas***

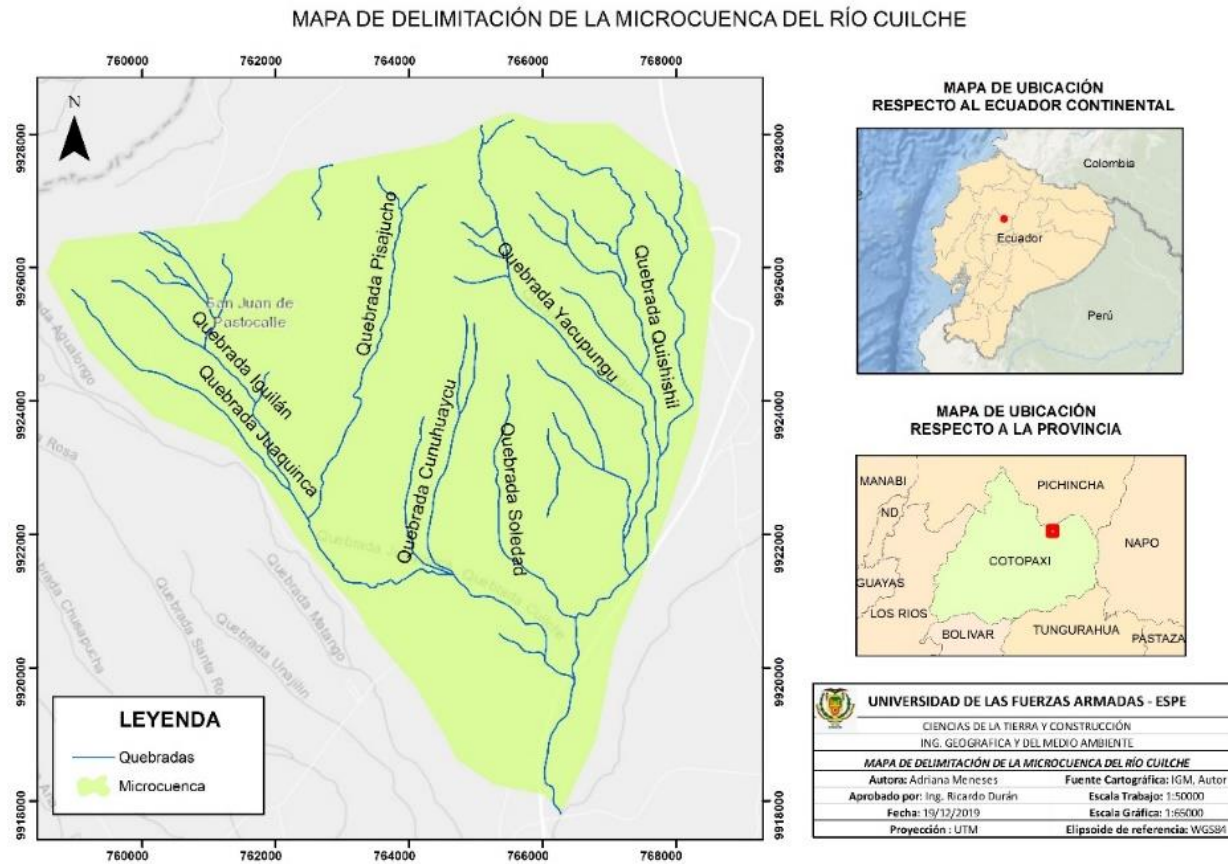
La generación de la unidad hidrográfica es un proceso que se ejecuta de forma automática, para lo cual, es necesario la dirección de flujo y el punto de desfogue. Se genera una microcuenca, teniendo como resultado un archivo ráster, el cual se utiliza en el proceso de vectorización.

En el proceso de vectorización se transforma de un archivo ráster a polígonos vectoriales shapefile, con la finalidad de mejorar la visualización de las características de la microcuenca hidrográfica y los mapas temáticos.

La figura 12, muestra el mapa de la microcuenca hidrográfica del Río Cuilche. Como resultado se obtuvo un archivo formato shapefile (shp). El archivo posee como sistema de referencia el datum WGS84 zona 17 sur.

Figura 12

Mapa de delimitación de la microcuenca del Río Cuilche





Dentro de la microcuenca existen tres quebradas importantes para este estudio, ya que, parte de ellas se encuentran dentro de las zonas de concesión, por lo cual se determinó su extensión: Juaquinca (8,26 km), Iguilán (2,89 km) y Pisajucho (5,02 km).

### **Propiedades morfométricas de la microcuenca**

#### ***Área de la Microcuenca (A)***

Lodoño (2001) citado en Garay & Agüero (2018), define al área como el total de la superficie proyectada sobre un plano horizontal, contribuye con el flujo superficial a un segmento de cauce de orden dado, incluyendo todos los atributos de orden menor, en otros términos, es el espacio delimitado por la curva del perímetro.

El área de la cuenca es de suma importancia para entender la magnitud del caudal, ya que, esta magnitud es proporcional al área, es decir, que va a crecer en relación con el área. El área de la microcuenca también resulta ser proporcional con la longitud de esta, pero no está ligada con densidades de drenaje (Lodoño, 2001) citado en Garay & Agüero (2018).

Según los datos obtenidos en el software ArcGis 10.2 de manera semiautomática, el área de la microcuenca del Río Cuilche ocupa un área de 58,89 km<sup>2</sup>.

#### ***Perímetro de la Microcuenca (P)***

Se entiende por perímetro de la microcuenca a la longitud de la divisoria de aguas o del contorno de esta. A su vez se entiende por divisoria de aguas como la línea que delimita la microcuenca hidrográfica (Garay & Agüero, 2018).

El perímetro es un parámetro de importancia, ya que, si lo relacionamos con el área podría dar información sobre la forma de la microcuenca.

Según los datos obtenidos en el software ArcGis 10.2 de manera semiautomática, el perímetro de la microcuenca del Río Cuilche es de 32,26 km.

### ***Longitud de la cuenca (L)***

La longitud de la cuenca es la longitud de una línea recta, paralela al cauce principal. Por lo general el cauce principal no va hasta el límite de la microcuenca, por lo cual se traza una línea desde el inicio del cauce principal hasta el límite de la microcuenca, para obtener su valor (Garay & Agüero, 2018).

La longitud de la microcuenca del Río Cuilche es de 10,43 km. Dato que se obtuvo de forma semiautomática con el software ArcGis 10.2.

### ***Ancho de la microcuenca (W)***

De acuerdo con Garay & Agüero (2018), el ancho de la microcuenca es el resultado del cociente entre el área (A) y la longitud de la microcuenca (L), (Ver ecuación 1).

$$W = \frac{A}{L} = \frac{58,89}{10,43} = 5,64 \text{ km} \quad (1)$$

Donde:

W: Ancho de la microcuenca (km)

A: Área de la microcuenca (km<sup>2</sup>)

L: Longitud de la microcuenca (km)

Con la ayuda de esta fórmula se obtiene el ancho promedio de la microcuenca del Río Culche, el cual equivale a 5,64 km.

### ***Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius (Kc)***

Para analizar la forma de la microcuenca se utiliza el coeficiente de compacidad; la cual, según López (2006), es el resultado del cociente entre el perímetro y el perímetro de una circunferencia (Ver ecuación 2).

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} = 0,28 \frac{32,26}{\sqrt{58,89}} = 1,18 \quad (2)$$

Donde:

Kc: Coeficiente de Compacidad

P: Perímetro de la microcuenca (km)

A: Área de la microcuenca (km<sup>2</sup>)

Según López (2006), este coeficiente puede variar entre 1 y 2. Los valores más cercanos a 1 indican que la microcuenca posee una morfología casi circular, mientras que si los valores sobrepasan a 2 indica que la microcuenca es muy alargada.

El coeficiente de compacidad para la microcuenca es 1,18.

Mientras mayor ensanchamiento posean las microcuencas, la probabilidad de generar crecidas; tiende a ser mayor, ya que el agua en la microcuenca tiene un tiempo de recorrido más corto comparado con el de una microcuenca alargada, que posee un tiempo de viaje más largo (Garay & Agüero, 2018).

### **Factor de Forma de Horton (Ff)**

Este factor está definido en base a la relación que existe entre el área de la microcuenca y el cuadrado de la longitud de esta (Ver ecuación 3).

Si se habla de escurrimiento, se debe tomar en cuenta que en una microcuenca de forma alargada este no se concentrará rápidamente, como en una con forma redonda, además una microcuenca con forma alargada es menos propensa a tener lluvias intensas simultáneamente sobre toda su superficie (Lodoño, 2001) citado en Garay & Agüero (2018).

$$Ff = \frac{A}{L^2} = \frac{58,89}{10,43^2} = 1,85 \quad (3)$$

Donde:

Ff: Factor de forma de Horton

A: Área de la microcuenca (km<sup>2</sup>)

L<sup>2</sup>: Longitud de la microcuenca al cuadrado (km)

El factor de forma de Horton para la microcuenca es 1,85.

Un factor de forma superior a uno indica el grado de achatamiento de la cuenca, junto con la tendencia de a concentración de escurrimiento de una lluvia intensa, lo que genera grandes crecidas (Garay & Agüero, 2018).

### **Desnivel altitudinal de la microcuenca (G)**

Según Garay & Agüero (2018), el desnivel altitudinal de la microcuenca es el valor que se obtiene de la diferencia de la cota máxima y la cota mínima de la microcuenca, (Ver ecuación 4).

Cota máxima (HM): Se define como la mayor altura a la que se ubica la divisoria de la microcuenca (Garay & Agüero, 2018). En este caso asciende a 3897,44 msnm, valor que se obtiene de manera semiautomática mediante el software ArcGis 10.2.

Cota mínima (Hm): Se define como la cota donde la microcuenca desagua, la misma que determina el final de esta (Garay & Agüero, 2018). Equivale a 3008,78 msnm, valor que se obtiene de la misma forma que la cota máxima.

$$G = HM - Hm = 3897,44 - 3008,78 = 888,66 \text{ m} \quad (4)$$

Donde:

G: Desnivel Altitudinal (m)

HM: Altura máxima (msnm)

Hm: Altura mínima (msnm)

El desnivel altitudinal de la microcuenca es de 888,66 m. Este desnivel está relacionado con la variabilidad climática y ecológica (Garay & Agüero, 2018).

### **Alturas Características**

De acuerdo con la Autoridad Nacional del Agua de Perú (2010), la altitud media de la cuenca representa aspectos climáticos y naturales que están relacionados con la microcuenca, mediante un patrón climático existente en la zona, (Ver ecuación 5).

$$Hmed = \frac{\sum(hi.Si)}{A} = 3434,96 \text{ msnm} \quad (5)$$

Donde:

Hmed: Altitud media de la microcuenca (msnm)

hi: Altitud media de cada tramo de área contenido entre las curvas de nivel (msnm)

Si: Área contenida entre las curvas de nivel (km)

A: Área total de la cuenca (km<sup>2</sup>)

La altitud media de la microcuenca se obtiene en ArcGis 10.2, mediante el cálculo de los centroides de esta, centroide X: 764049,92, centroide Y: 9923550,07 y centroide Z: 3434,96, valor que representa la altitud media de la microcuenca.

Adicionalmente se realiza el cálculo de la altitud de frecuencia media y la altitud más frecuente, mediante la generación de una curva hipsométrica con datos obtenidos del software ArcGis 10.2.

La curva hipsométrica es considerada una curva característica de suma importancia de una microcuenca. Esta representa las elevaciones (msnm) en el eje x y el porcentaje del área de la cuenca en el eje y. Se puede decir que esta curva caracteriza de cierto modo el relieve (Ministerio de Agricultura y Alimentación, 1978).

Para generar la curva hipsométrica se necesitaron datos del área entre curvas los cuales se muestran a continuación en la tabla 10.

**Tabla 10**

*Área entre curvas de nivel*

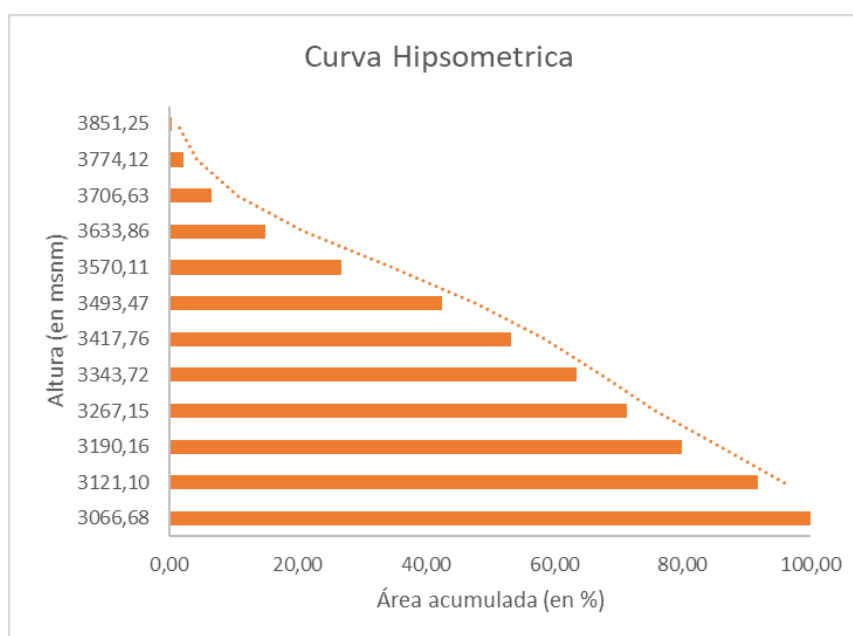
No	Cota			Área (km <sup>2</sup> )			
	Máximo	Mínimo	Promedio	Intervalo	Acumulado	%Acumulado	%Intervalo
1	3085,95	3012,23	3066,68	4,85	58,89	100,00	8,23
2	3159,68	3085,96	3121,10	7,04	54,04	91,77	11,96
3	3233,39	3159,68	3190,16	4,99	46,99	79,81	8,47
4	3307,12	3233,40	3267,15	4,58	42,01	71,34	7,79
5	3380,84	3307,14	3343,72	6,06	37,42	63,55	10,29

No	Cota			Área (km2)			
	Máximo	Mínimo	Promedio	Intervalo	Acumulado	%Acumulado	%Intervalo
6	3454,56	3380,85	3417,76	6,35	31,36	53,26	10,78
7	3528,29	3454,58	3493,47	9,17	25,01	42,48	15,57
8	3602,01	3528,29	3570,11	7,00	15,85	26,91	11,89
9	3675,73	3602,01	3633,86	4,99	8,85	15,02	8,48
10	3749,45	3675,74	3706,63	2,59	3,85	6,55	4,40
11	3823,10	3749,46	3774,12	1,03	1,26	2,15	1,76
12	3896,90	3823,38	3851,25	0,23	0,23	0,39	0,39

Mediante los datos de la tabla 15 se grafica la curva hipsométrica, la cual, se puede visualizar en la figura 13, información necesaria para el cálculo de la Altura de frecuencia media y más frecuente.

**Figura 13**

*Curva Hipsométrica*



La altura de frecuencia media corresponde al punto medio en el eje y (50% del área) de la curva hipsométrica, se obtiene al realizar un pronóstico entre el promedio de

las cotas y el acumulado (%) obteniendo un valor de: 3424,68 msnm, la altitud más frecuente representa el valor máximo en porcentaje de la curva de frecuencia de altitudes, con un valor de 3066,68 msnm.

### ***Pendiente media de la microcuenca (S)***

Según Garay & Agüero (2018), la pendiente media de la microcuenca se obtiene del cociente del nivel altitudinal y la longitud de esta, (Ver ecuación 6).

$$S = \frac{G}{L} \quad (6)$$

Donde:

S: Pendiente de la microcuenca (m)

G: Desnivel altitudinal de la microcuenca (msnm)

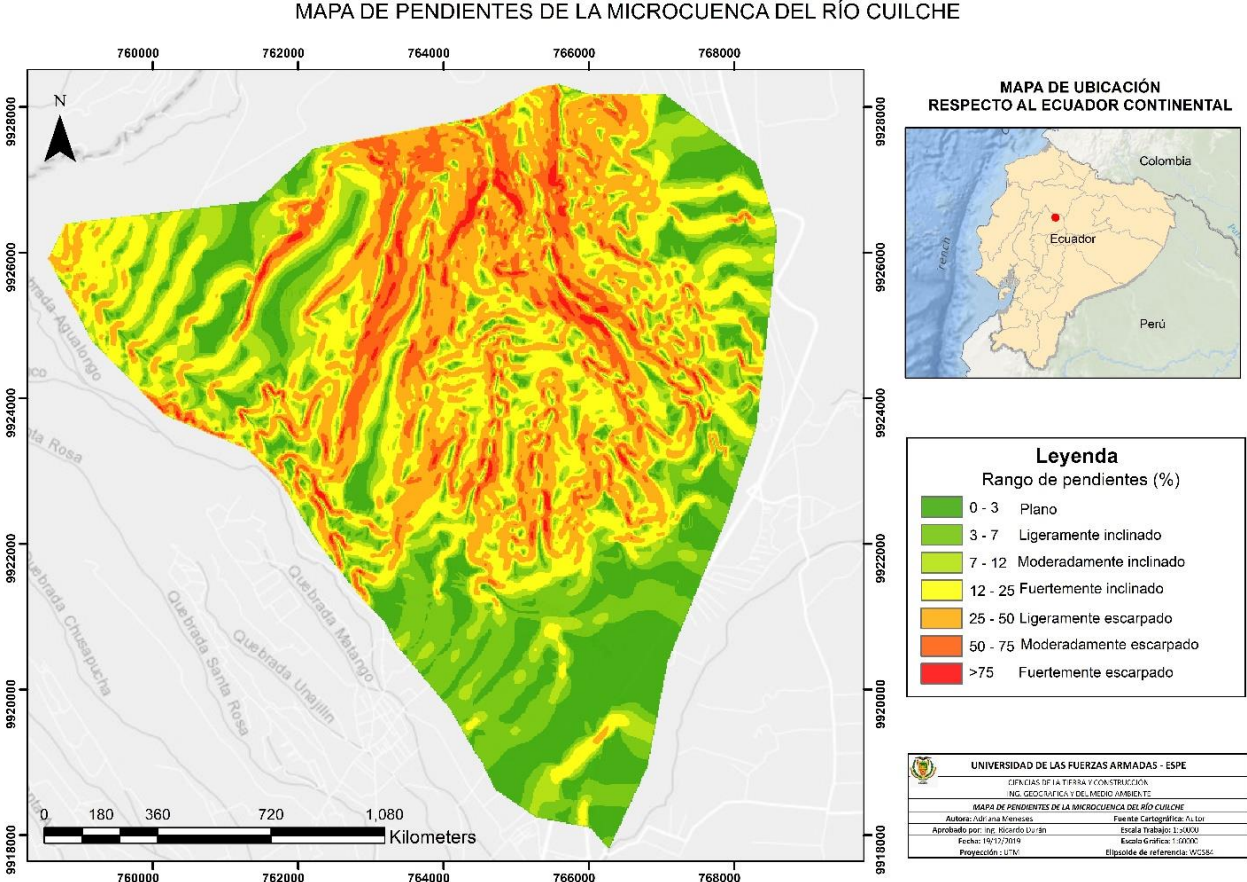
L: Longitud de la microcuenca (km)

Como se puede observar existen diversos métodos para el cálculo de la pendiente media de la microcuenca, en esta ocasión se lo realiza mediante el software ArcGis 10.2, para lo cual se genera el mapa de pendientes de la microcuenca con la finalidad de conocer los datos de la superficie en intervalos de pendiente, como se puede observar en la figura 14 y la tabla 11.



Figura 14

Mapa de pendientes de la microcuenca del Río Cuilche



**Tabla 11**

Superficie en intervalos de pendiente

No	Rango Pendiente (%)			Número de ocurrencias (2)	(1)*(2)
	Inferior	Superior	Promedio (1)		
1	0,00	11,59	5,80	97547,00	565436,89
2	11,59	23,19	17,39	49186,00	855342,87
3	23,19	34,78	28,98	31099,00	901356,96
4	34,78	46,37	40,58	23028,00	934399,98
5	46,37	57,97	52,17	15694,00	818748,50
6	57,97	69,56	63,76	8698,00	554609,17
7	69,56	81,15	75,36	3421,00	257790,26
8	81,16	92,71	86,94	1016,00	88326,13
9	92,77	100,00	96,39	359,00	34602,42
<b>Total</b>				<b>230048,00</b>	<b>5010613,19</b>

El valor de la pendiente media es de 21,78% el mismo que se calcula con la ecuación 7:

$$S = \frac{\sum(\text{promedio} * \text{número de ocurrencias})}{\sum \text{número de ocurrencias}} \quad (7)$$

### **Red de drenaje y cauce principal**

Se entiende por red de drenaje al sistema de corrientes o cauces por donde circula el agua en el interior de la microcuenca. Los Cauces que contiene la microcuenca forman un patrón de drenaje dendrítico, el cual se asemeja a las ramificaciones de un árbol. Se debe tener en cuenta que entre más causas estén presentes en la cuenca, habrá un mejor escurrimiento.

La longitud del cauce principal de la cuenca se genera de forma semiautomática mediante el software ArcGis 10.2 y se obtuvo un valor de 8,26 km.

### ***Orden de la red hídrica (O)***

El orden de la red permite tener una mejor visión del desarrollo que tiene el drenaje de la microcuenca. Para jerarquizarlos existen varios sistemas, siendo los principales el de Horton y el de Strahler (Garay & Agüero, 2018).

En este proyecto se utiliza el método de Strahler, el mismo que define el tamaño de una corriente según la jerarquía de los afluentes, siendo los cauces de primer orden los que no tienen tributarios, los de segundo orden los que se forman al unir dos cauces de primer orden, es decir, que los cauces de orden  $n$  se forman cuando dos cauces de orden  $n-1$  se unen (Garay & Agüero, 2018). Siguiendo este criterio y con ayuda de ArcGis 10.2 se determina que la microcuenca es de orden 4.

### ***Longitud de la red hídrica (C)***

La Longitud de la red hídrica está definida por la sumatoria de la distancia que recorren todos los cauces de agua que forman parte de la red hidrográfica de la cuenca. La distancia de un curso de agua se debe medir desde su punto de origen hasta su desembocadura (Garay & Agüero, 2018).

Este parámetro se determina mediante el software ArcGis 10.2 obteniendo los siguientes datos representados en la tabla 12, mediante los que se obtuvo el valor total de la red.

**Tabla 12**

*Longitud para cada orden de la red hídrica*

<b>Orden de la red hídrica</b>	<b>Longitud (km)</b>
1	124,41

Orden de la red hídrica	Longitud (km)
2	47,11
3	34,13
4	9,99
<b>Total</b>	<b>215,64</b>

El valor obtenido al realizar la sumatoria de todos los cauces de agua según el orden al que pertenecen fue de 215,64 km, el mismo que corresponde a la longitud de la red hídrica de la microcuenca.

### ***Pendiente promedio de la red hídrica***

Para el cálculo de esta propiedad se calcularon los datos representados en la tabla 13.

**Tabla 13**

*Obtención de la pendiente promedio de la cuenca*

Orden de la red hídrica	Número de ocurrencias (1)	Pendiente promedio % (2)	(1) *(2)
1	7426	1,778077	13203,9998
2	2783	1,546173	4302,99946
3	2040	1,444118	2946,00072
4	631	1,293185	815,999735
<b>Total</b>	<b>12880</b>		<b>21268,9997</b>

El valor de la pendiente media es de 1,65% el mismo que se calcula mediante la ecuación 8:

$$S = \frac{\sum(\text{pendiente promedio} * \text{número de ocurrencias})}{\sum \text{número de ocurrencias}} \quad (8)$$

### ***Densidad de drenaje (Z)***

De acuerdo con Garay & Agüero (2018), este parámetro actúa como índice, ya que, se encarga de cuantificar el grado de desarrollo que tiene la red hidrográfica, la cual se relaciona con la cantidad de precipitaciones y la pendiente de la superficie del suelo. La densidad de drenaje se obtiene del cociente entre la longitud de la red hídrica y el área de cuenca, (Ver ecuación 9).

$$Z = \frac{C}{A} = \frac{215,64}{58,89} = 3,66 \frac{km}{km^2} \quad (9)$$

Donde:

Z: Densidad de drenaje (km/km<sup>2</sup>)

C: Longitud de la red hídrica (km)

L<sup>2</sup>: Superficie o Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

De esta manera se obtiene el valor de la densidad de los drenajes (km de cursos de agua por cada km<sup>2</sup>). Para esta microcuenca equivale a 3,66 km/km<sup>2</sup>.

Una densidad de drenaje baja refleja un área pobremente drenada, es decir, que posee una respuesta hidrológica muy lenta, por lo general esto sucede donde el suelo es resistente a la erosión o muy permeable, por el contrario una densidad de drenaje alta refleja una microcuenca muy bien drenada, lo cual, responde rápidamente a la influencia de precipitación, lo mismo que representa tipos de suelo fácilmente erosionables o relativamente impermeables de pendientes fuertes y escasa cobertura vegetal (Lodoño, 2001) citado en Garay & Agüero (2018).

## **Caracterización del suelo**

### ***Geomorfología y litología***

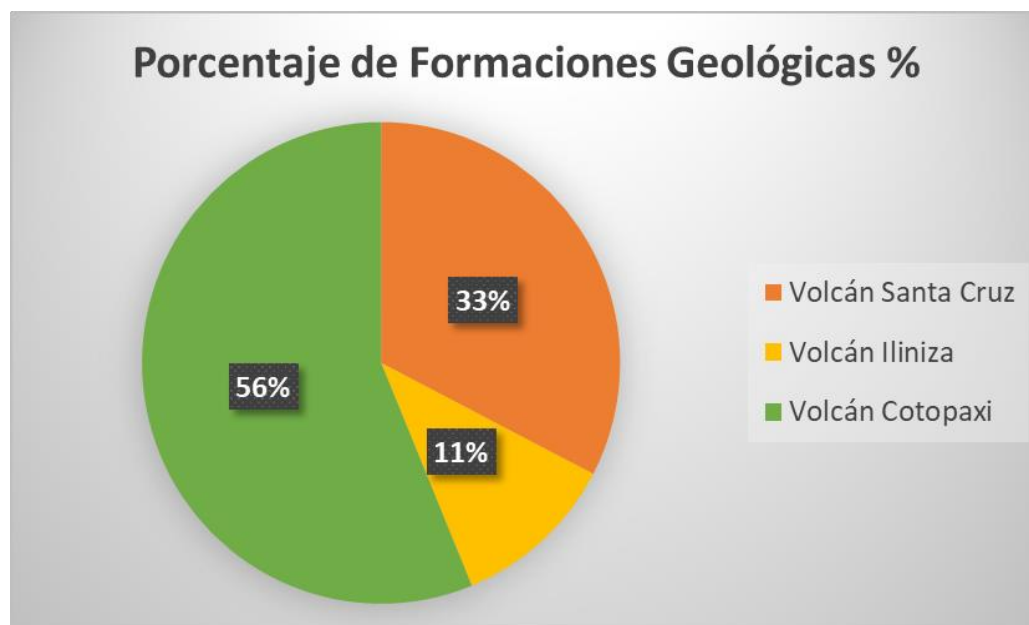
De acuerdo con el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) parroquial de San Juan de Pastocalle (2018), todo suelo se encuentra determinado por su estructura interna y composición, las cuales se han originado a lo largo de la historia por procesos de evolución, ya sea debido al clima u otros factores.

Arguello (2015), determina que la provincia de Cotopaxi comprende varios estratovolcanes y centros volcánicos más pequeños que evidencian una actividad reciente o histórica y están considerados que forman parte del período Cuaternario (Pleistoceno y Holoceno).

Las características del suelo de las zonas de estudio se deben a los procesos eruptivos del Volcán Cotopaxi, el mismo que es responsable del 56,19% de las formaciones geológicas de la parroquia de San Juan de Pastocalle, lo que se puede visualizar en la figura 15.

**Figura 15**

*Porcentaje de formaciones geológicas*



Nota: Recuperado de (GAD parroquial de San Juan de Pastocalle, 2018)

Litológicamente en estas zonas se puede encontrar ciertas estructuras geológicas, las mismas que se encuentran descritas en la figura 16. Según Sánchez (2017), la ceniza proveniente del volcán Cotopaxi presenta una composición mineralógica la cual esta descrita en la tabla 14.

**Tabla 14**

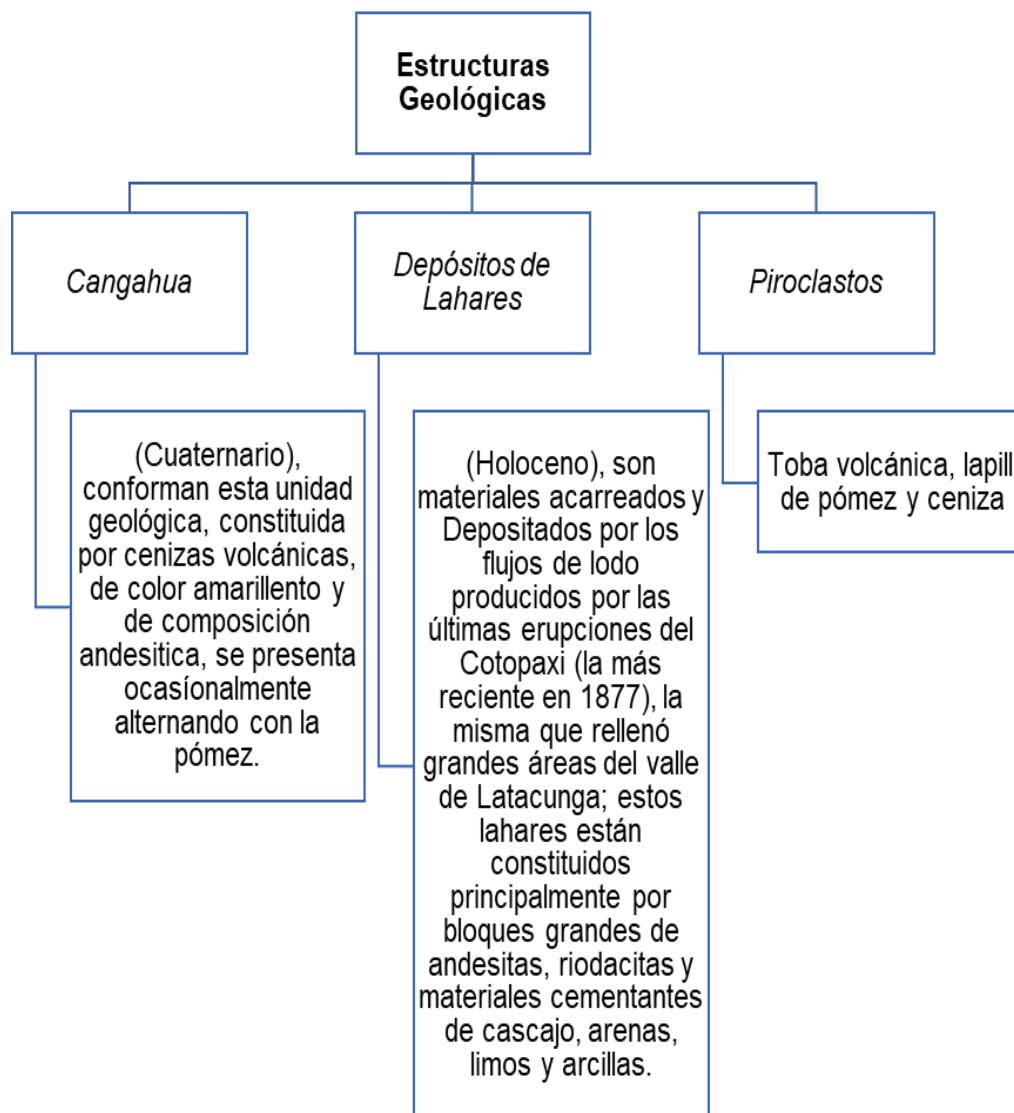
*Composición mineralógica de la ceniza del Volcán Cotopaxi*

Minerales	Porcentaje
Feldespatos de plagioclasas (albita, andesita, bytownita, antortita)	53-61%
Ortoclasa	11-15%
Óxidos de Silicio	9-19%
Óxidos de hierro (magnetita, hematita y maghemita)	4-10%
Yeso	4-7%
Dolomita	0-3%
Mayenita	1-2%

Nota: Recuperado de (Sánchez, 2017)

**Figura 16**

*Composición litológica de las zonas de estudio*



Nota: Recuperado de (GAD parroquial de San Juan de Pastocalle, 2018)

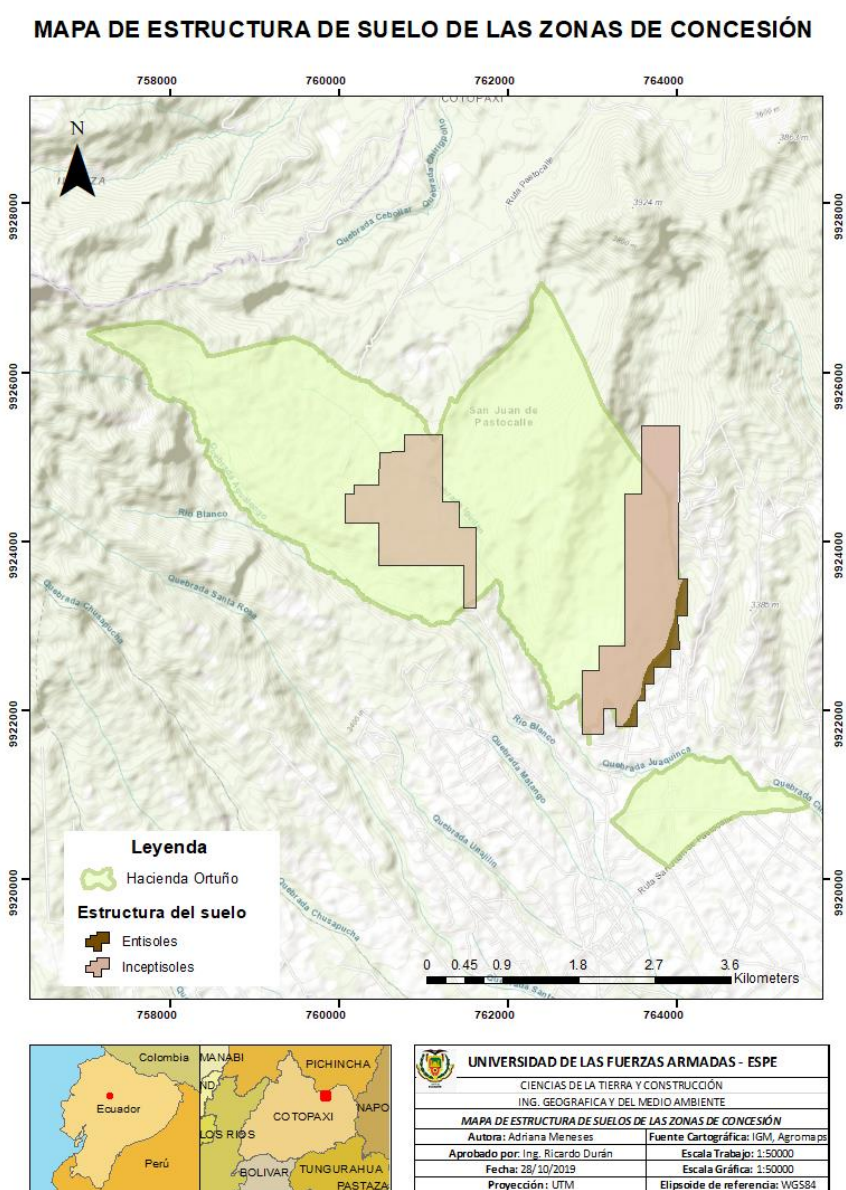


## Textura y estructura del suelo

Las áreas de estudio presentan dos tipos de suelo: inceptisol y entisol, así como se muestra en la figura 17.

**Figura 17**

*Mapa de estructura de suelo*



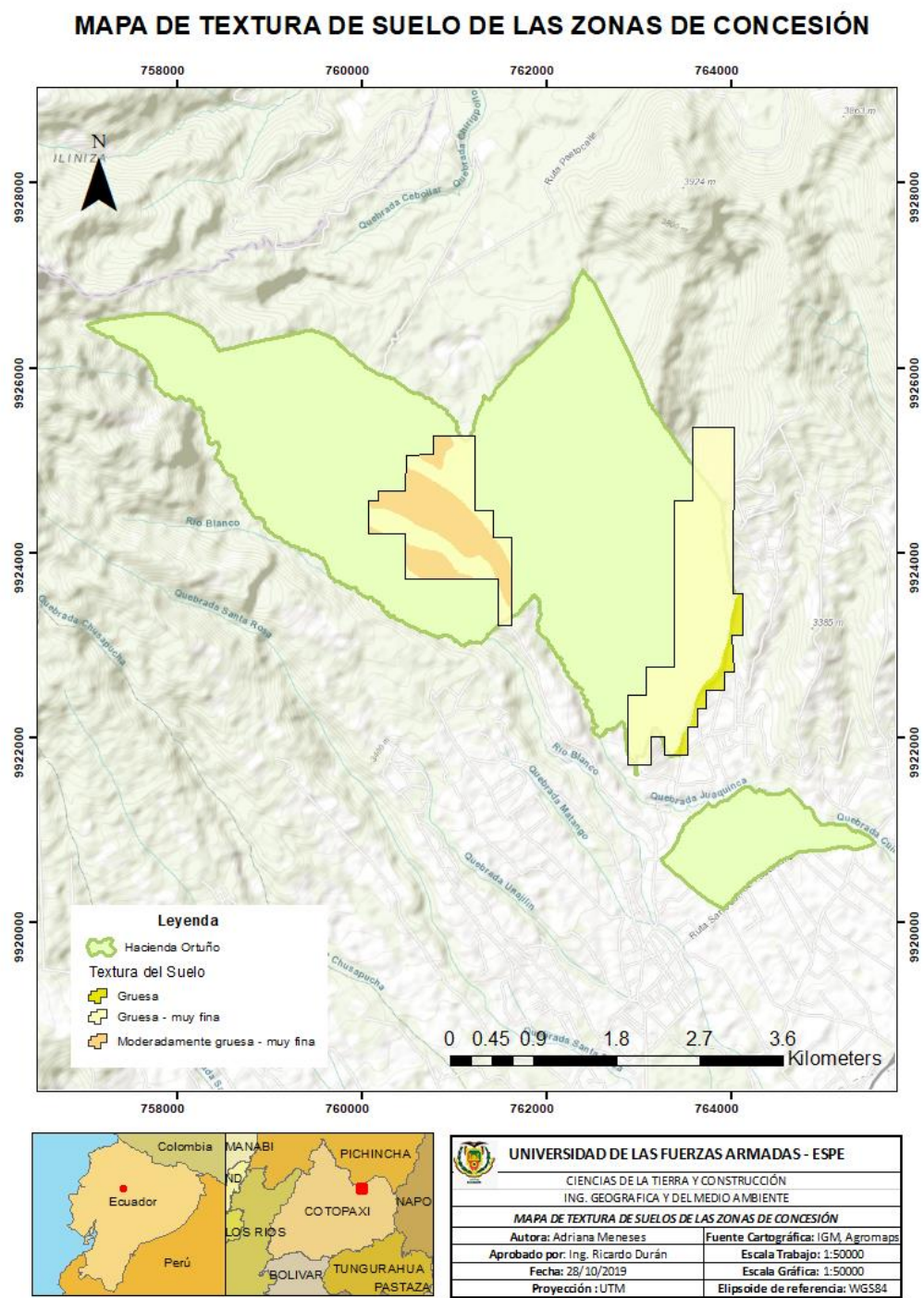
Los inceptisoles son suelos minerales de superficies geomórficas jóvenes, volcánicos recientes y sedimentarios. Son superficiales a moderadamente profundos, de topografía plana a quebrada (GAD parroquial de San Juan de Pastocalle, 2018). Se presentan con un color negro con matices rojizos, son arenosos con gravas de pómez. Presenta arena fina o media con mucha materia orgánica en el horizonte superior. Es un suelo suave de estructura granular.

Los entisoles son suelos minerales que se derivan de materiales aluviónicos como residuales. Tienen presencia de ceniza, son arenosos y profundos. Presentan arena media a gruesa con más de 0,5 mm y menos de 2 mm. Poseen menos de 1% de materia orgánica. Topografía variable entre plana a extremadamente empinada (GAD parroquial de San Juan de Pastocalle, 2018).

Las zonas de estudio presentan en el suelo una textura que varía de gruesa a muy fina, así como se muestra en la figura 18.

Figura 18

Mapa de textura del suelo



### ***Subsuelo y Capa Freática***

El subsuelo de las áreas de estudio está formado por cascajo, que es el resultado de los sedimentos que producen las diversas erupciones volcánicas, razón por la que se conocen como derivados de las rocas ígneas, sedimentarias y metafóricas. Es de esperarse que las cualidades físicas y mecánicas de la roca madre se conserven en sus agregados (Vizcardo & Trinidad, 2014).

De acuerdo con Arguello (2015), esta capa de material pétreo (cascajo) posee agregados de composición andesítica, en su mayoría los clastos varían entre sub-redondeados a sub-angulares, los cuales, como ya se mencionó pertenecen a eventos volcánicos cuaternarios. En la tabla 15 se puede visualizar más características de este material.

**Tabla 15**

*Características del agregado grueso (Cascajo)*

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Densidad Real	2,80	gr/cm <sup>3</sup>
Capacidad de Absorción	4,93	%
Granulometría (Tamaño nominal máximo)	1	pulg
Porcentaje de Grava (tamiz No 4)	63,89	%

Nota: Recuperado de (Torres, 2011)

Seguido a esta capa de material pétreo existe una de ceniza volcánica muy fina, material que es parte de la Cangahua (Arguello, 2015). En la tabla 16 se puede visualizar más características de este material.

**Tabla 16***Características del agregado fino (Cangahua)*

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Densidad Real	4,66	gr/cm <sup>3</sup>
Capacidad de Absorción	0,83	%
Granulometría (módulo de finura)	2,42	
Porcentaje de Arena Fina (tamiz No 4)	31,15	%
Porcentaje de Limo (tamiz No 200)	4,96	%
Índice de Plasticidad	7,62	%

Nota: Recuperado de (Torres, 2011)

Estos datos fueron analizados según la Norma Técnica Ecuatoriana-INEN 856:2010 “Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino”, Norma Técnica Ecuatoriana-INEN 857:2010 “Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso”, Norma Técnica Ecuatoriana-INEN 696:2011 “Áridos. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso” y las especificaciones del Ministerio de transporte y obras públicas (MTO), para conocer si son aptos para su uso en materiales de construcción.

La densidad real es una propiedad importante de los agregados, debido a que si se utiliza un material con buena densidad  $> 2,25 \text{ gr/cm}^3$ , el concreto va ser igual o más denso. Los agregados con mayor densidad poseen una menor porosidad y menor adherencia, esto influye en el diseño de la mezcla (mayor requerimiento de cemento, influencia directa en la economía) (Torres, 2011). La densidad de los agregados presentes en las zonas es de  $2,80 \text{ gr/cm}^3$  para agregados gruesos y  $4,66 \text{ gr/cm}^3$  para agregados finos.

Como se puede observar en las tablas 20 y 21 el agregado fino es más grande que el grueso, esto se debe a que en el primero existe una mayor compactación y menor espacio de vacíos, mismos que influyen en el aumento de la densidad.

La capacidad de absorción en los agregados es bastante influyente en la consistencia del concreto esto se debe a que las partículas absorben agua directamente de la mezcla, disminuyendo así su manejabilidad (Torres, 2011). El porcentaje de absorción para agregados finos y gruesos, es bueno e indica que en el diseño de las mezclas estos aportarán agua en cantidades mínimas.

En cuanto a granulometría tanto el agregado fino como grueso se encuentran de los límites aptos para su uso en materiales de construcción. En los agregados finos donde su módulo de finura varía entre 2,2 – 2,8, por lo general se obtienen concretos de buena trabajabilidad. La granulometría afecta en los requisitos de agua y cemento, en la trabajabilidad, durabilidad y resistencia del concreto (Torres, 2011).

El porcentaje de limos en los agregados esté ligado a la pureza y al porcentaje de absorción (Torres, 2011). En las zonas se habla de un material puro ya que la cantidad de limos es baja.

Como lo indica el ministerio de transporte y obras públicas (MTO) el índice de plasticidad para agregados de superficie de rodadura que pasan por el tamiz No 40 debe ser menor 9 y menor a 6 para base y sub base de agregados como se puede observar en la tabla 16 esto si se cumple para los agregados del estudio.

Según Burbano et al., (2015), La capa freática (depósito de agua subterránea presente a una profundidad relativamente pequeña bajo el nivel del suelo), en las zonas de concesión aflora aproximadamente a los 3,20 m de profundidad y generalmente sus

valores de conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), pH y T ( $^{\circ}\text{C}$ ) varían entre: 190-767,5, 5-5,8 y 10-15,5 respectivamente.

### **Análisis de concentraciones obtenidas en Laboratorio**

El análisis de los datos de concentraciones se lo realiza de acuerdo a los usos de las fuentes de agua que son: consumo humano y actividades agrícolas y pecuarias, en base al Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, Reforma Libro VI Del Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente, Tabla 1 (Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico), tabla 3 (Criterios de calidad de aguas para riego agrícola), tabla 4 (Parámetros de los niveles de la calidad de agua para riego) y tabla 5 (Criterios de calidad de aguas para uso pecuario).

### ***Concentraciones inorgánicas***

La composición química de las aguas superficiales se encuentra directamente relacionada con: la forma y extensión de la cuenca, tipos de suelo, tipos de rocas, flora y fauna, clima y actividades humanas que se realizan en las zonas de estudio (Piedra & Andrade, 2017).

La aceptación de la composición del agua varía de acuerdo a sus usos, la calidad de agua en: agricultura, consumo humano y ganadería se definen por: pH, sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica y toxicidad (cloruros y boro) (Jiménez, 2000).

La presencia de cationes como:  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$ , y  $\text{Na}^{+}$ , y aniones como  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^{-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^{-}$ , constituyen el 99% del total de la salinidad y la cantidad en la que se presentan se relaciona con el origen de los materiales presentes en la zona (Roldán & Ramírez, 2008) citado en Piedra & Andrade (2017).

Conocer la composición química del agua en estudio es importante, ya que, así se puede determinar ciertos efectos que puede tener en las distintas actividades para las cuales se la utiliza, cabe recalcar que la composición química de esta tiene relación con el origen de sus yacimientos (Carrera et al., 2011).

En la Tabla 17 se muestran los resultados obtenidos en laboratorio de los iones elegidos por el autor para la realización del presente estudio.

Para mejor visualización y comprensión de los lectores se realizaron mapas de cada punto de muestreo con sus respectivas concentraciones (Ver anexo 1 al 7).



**Tabla 17***Composición iónica de los puntos de muestreo*

No Punto	Coordenadas		pH	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	SDT (mg/l)	Dureza (mg $\text{CaCO}_3/\text{l}$ )	$\text{Ca}^{2+}$ (mg/l)	$\text{Mg}^{2+}$ (mg/l)	$\text{HCO}_3^-$ (mg/l)	$\text{Cl}^-$ (mg/l)	$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/l)	B (mg/l)
	N	E											
1	9924422	760247	8,4	230	16,5	147,2	99,8	20	12,1	158	2,9	3,9	0,21
2	9924859	760807	8,3	235,1	15,4	150,5	99,6	20,1	12	157,9	2,8	3,8	-
3	9925287	763612	8,7	220,9	13,7	141,4	101,8	20,3	12,4	158,3	3,2	4,2	-
4	9924099	759899	6,3	230,5	14,3	147,5	100,3	17,9	13,5	155,1	2,6	10,8	0,108
5	9923609	760310	6,2	235,1	14,6	150,5	99,6	17,8	13,4	155	2,5	10,7	0,107
6	9923580	763194	6,5	245,5	15,4	157,1	101,6	18,1	13,7	155,3	2,8	11	0,106
7	9925125	759540	8,4	230	11,1	147,2	99,8	20	12,1	158	2,9	3,9	0,21

El pH determina la acidez y basicidad del agua, se dice que un agua es ácida si posee un  $\text{pH} < 7$  y básica si tiene un  $\text{pH} > 7$ . Un agua ideal está cerca de la neutralidad o es ligeramente ácida. Según las tablas 1 y 3 del Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, Reforma Libro VI Del Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente, el rango de variación va de 6 a 9 (Ver anexos 8 y 9). Los datos de pH obtenidos en esta investigación varían entre 6,2 – 8,7, lo cual indica que se encuentran dentro de los criterios de calidad para consumo humano y riego agrícola.

Los valores de conductividad eléctrica (CE) son de suma importancia para usos de riego, ya que tiene relación con la salinidad. De acuerdo con la tabla 4 del Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, Reforma Libro VI Del Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente, si el agua tiene un valor menor o aproximado a  $700 \mu\text{S}/\text{cm}$ , no existe ninguna restricción para su uso, por el contrario, si los valores varían entre los  $700 \mu\text{S}/\text{cm}$  y  $3000 \mu\text{S}/\text{cm}$  posee un grado ligero - moderado de restricción (valores cercanos a  $700 \mu\text{S}/\text{cm}$ , restricción ligera, valores próximos a  $3000 \mu\text{S}/\text{cm}$  restricción moderada), mientras que si la conductividad eléctrica (CE) es mayor a  $3000 \mu\text{S}/\text{cm}$ , el grado de restricción es severo (Ver anexo 10). En este estudio los datos de conductividad eléctrica (CE) de las fuentes de agua oscilan entre 230 a  $245,5 \mu\text{S}/\text{cm}$ , lo cual indica que no existe ninguna restricción para el uso de estas aguas en actividades de riego agrícola.

Según Carrera et al., (2015), si la conductividad es menor a  $250 \mu\text{S}/\text{cm}$  se puede decir que el agua posee baja salinidad,  $250$  a  $750 \mu\text{S}/\text{cm}$  es de salinidad media,  $750$  -  $2250$  altamente salina y si los valores son mayores a  $2250$  el agua se considera muy altamente salina. Según los resultados obtenidos, los cuales se muestran en la tabla 17, el agua de cada uno de los puntos de muestreo posee baja salinidad.

Otros de los parámetros influyentes en la salinidad y que tiene relación con la CE son los Sólidos Disueltos Totales, por esta razón el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, Reforma Libro VI Del Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente, la tabla 4 presenta los siguientes grados de restricción para agua de riego: el agua con valores de sólidos disueltos totales (SDT) menores o aproximados a 450 mg/l no posee ninguna restricción para su uso , por el contrario los valores que varían entre los 450 – 2000 mg/l tienen un grado ligero - moderado de restricción (valores cercanos a 450 mg/l, restricción ligera, valores próximos a 2000 mg/l restricción moderada), mientras que si la presencia de sólidos disueltos totales (SDT) es mayor a 2000 mg/l, el grado de restricción es severo (Ver anexo 10). De acuerdo a la tabla 5 el valor máximo para aguas de uso pecuario es de 3000 mg/l (Ver anexo 11). Conforme a lo antes ya mencionado y a los datos obtenidos en esta investigación que varían entre 141,4 – 157,1, se determina que no existe ninguna restricción para el uso de estas aguas en actividades agrícolas y pecuarias.

De acuerdo con la Organización Mundial de la salud (OMS) citado en Rodríguez (2009), se considera que un agua es blanda cuando tiene concentraciones menores 60 mg CaCO<sub>3</sub>/L, moderadamente dura cuando sus concentraciones varían entre 61-120 mg CaCO<sub>3</sub>/L, dura entre 121-180 mg CaCO<sub>3</sub>/L y muy dura cuando posee valores mayores a 180 mg CaCO<sub>3</sub>/L. Si los valores sobre pasan los 500 mg CaCO<sub>3</sub>/L, se la considera no apta para consumo humano y uso doméstico. Como se puede observar en los resultados el agua de las vertientes tiende a ser moderadamente dura.

Como se menciona en la caracterización de suelo de las zonas de estudio, la geología del lugar se debe a las erupciones del volcán Cotopaxi en el periodo Cuaternario, lo que dio lugar a formaciones geológicas como: piroclastos, depósitos de

lahares y cangahua, lo que está directamente relacionado con la presencia de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, las que se les atribuye la razón por la cual se tiene presencia de calcio y magnesio (Carrera et al., 2015).

La presencia de bicarbonatos en las aguas se debe a que estas tienen contacto con rocas como: las andesitas, riodacitas y feldespatos, por medio de su disolución y desgaste (Piedra & Andrade, 2017).

Los bicarbonatos en agua para riego agrícola presentan los siguientes grados de restricción según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, Reforma Libro VI Del Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente, Tabla 4 : el agua con valores de  $\text{HCO}_3$  menores o aproximados a 91,53 mg/l no posee ninguna restricción para su uso , por el contrario los valores que varían entre los 91,53 – 518,64 mg/l tienen un grado ligero - moderado de restricción (valores cercanos a 91,53 mg/l, restricción ligera, valores próximos a 518,64 mg/l restricción moderada), mientras que si la presencia de  $\text{HCO}_3$  es mayor a 518,64 mg/l, el grado de restricción es severo (Ver anexo 10). Los datos obtenidos varían entre 155 – 158,3, esto indica que el agua de las diferentes fuentes presenta un ligero grado de restricción para utilizarla como agua de riego.

La presencia de cloruros y sulfatos en las aguas se debe a que estas se encuentran dentro de una zona que posee contacto volcánico, sobre todo con yeso y esquistos (Carrera et al., 2015).

Para actividades agrícolas las concentraciones de cloruros poseen algunas restricciones según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, Reforma Libro VI Del Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente, Tabla 4 :

Si el agua tiene un valor menor o aproximado a 141,81 mg/l, no existe ninguna restricción, por el contrario, si los valores varían entre los 141,81 mg/l y 354,53 mg/l posee un grado ligero - moderado de restricción (valores cercanos a 141,81 mg/l restricción ligera, valores próximos a 354,53 mg/l restricción moderada), mientras que si la concentración de cloruros es mayor a 354,53 mg/l, el grado de restricción es severo (Ver anexo 10). En este estudio las concentraciones de cloruros pertenecientes a las fuentes de agua oscilan entre 2,5 a 3,2 mg/l, lo cual indica que no existe ninguna restricción para el uso de estas aguas en actividades de riego agrícola.

Las concentraciones de sulfatos en aguas aptas para el consumo humano y riego agrícola según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, Reforma Libro VI Del Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente, Tablas 1 y 3, no deben ser mayores a: 500 mg/l y 250 mg/l, respectivamente (Ver anexo 8 y 9). Los datos obtenidos en laboratorio en este estudio varían entre 3,8 – 11 mg/l, lo cual cumple con los criterios de calidad impuestos por este acuerdo.

El boro es uno de los parámetros que debido a su toxicidad resulta importante para las actividades según las cuales se están realizando el análisis de las concentraciones, para el riego agrícola el criterio de calidad es de 0,75 mg/l (Ver anexo 9), mientras que para actividades pecuarias el valor máximo permitido es de 5 mg/l (Ver Anexo 11). Las concentraciones obtenidas en esta investigación varían entre 0,106 – 0,21 mg/l, los cuales se encuentran dentro de los criterios de calidad presentes en el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, Reforma Libro VI Del Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente, Tablas 3 y 5.

El análisis de la composición inorgánica y la caracterización del suelo de las zonas de estudio hacen notar que las aguas de la microcuenca del Río Culche pertenecen a las familias bicarbonatadas sódicas, cálcicas y magnésicas

### ***Concentraciones orgánicas***

El lavado de suelos, el metabolismo de los organismos que viven en ellos y la recepción de aguas residuales, ya sean de origen industrial o doméstico causan que las aguas naturales a más de contener sustancias disueltas y minerales, también contengan sustancias orgánicas, las mismas que en muchos casos es la responsable del color, olor y sabor del agua (Piedra & Andrade, 2017).

En la Tabla 18 se encuentran detalladas las concentraciones de Demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) analizadas en el laboratorio.

**Tabla 18**

### *Concentraciones orgánicas*

<b>No</b>	<b>Descripción</b>	<b>DBO<sub>5</sub> (mg/l)</b>	<b>DQO (mg/l)</b>	<b>DBO<sub>5</sub>/DQO</b>
1	Quebrada de Juaquinca	0,40	3,7	0,11
2	Quebrada de Iguillán	0,35	3,5	0,10
3	Quebrada de Pisajucho	0,45	3,9	0,12
4	Vertiente 9	0,30	2,9	0,10
5	Vertiente 10	0,20	2,8	0,07
6	Vertiente 11	0,25	3,0	0,08
7	Canal de agua (Quebrada de Juaquinca)	0,40	3,7	0,11

Según Fernández & Curt (2011), se habla de una oxidación de materia orgánica más completa, cuando el valor de DQO es mayor que el de la DBO<sub>5</sub>, esto ocurre con los resultados presentados en la tabla anterior.

La relación existente entre los valores de  $DBO_5$  y DQO es muy importante para definir el tipo de contaminación que existe en las aguas y la biodegradación de la materia contaminante, para aguas estabilizadas biológicamente la relación debe ser menor a 0,12, mientras que para aguas domésticas la relación  $DBO_5/DQO$  debe estar entre 0,4 a 0,8 (Romero, 1999).

Los datos obtenidos en laboratorio de la relación  $DBO_5/DQO$  varían en un rango de 0,07 a 0,12 con una relación promedio de 0,10, valores que están dentro del rango que indica Romero (1999).

Según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, Reforma Libro VI Del Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente, Tabla 1, el criterio de calidad de agua para consumo humano y doméstico de  $DBO_5$  y DQO deben ser menores a: 2 y 4 mg/l, respectivamente (Ver Anexo 8). Como se puede observar en la tabla 18, los datos obtenidos para  $DBO_5$  y DQO son menores las concentraciones de referencia.

Los coliformes se utilizan como un indicador de contaminación fecal en el agua, son considerados importantes, ya que gracias a ellos se puede hallar: parásitos, virus entéricos y bacterias (Sandoval, 1991).

Los coliformes fecales se constituyen por bacterias Gram-negativas y aunque no incluyen una determinada especie, la más preponderante es la *Escherichia Coli* (Camacho et al., 2009) citado en Piedra & Andrade (2017).

El contenido de coliformes fecales debe ser realizado por medio de un ensayo de tubos múltiples en unidades NMP/100ml. En el presente estudio se los determina por filtración utilizando una membrana en unidades UFC/100ml.

En la Tabla 19 se muestra detalladamente los valores de coliformes fecales obtenidos en laboratorio.

**Tabla 19**

*Contenido de coliformes fecales*

No	Descripción	UFC/100ml
1	Quebrada de Juaquinca	70
2	Quebrada de Iguillán	82
3	Quebrada de Pisajucho	75
4	Vertiente 9	15
5	Vertiente 10	17
6	Vertiente 11	21
7	Canal de agua (Quebrada de Juaquinca)	70

Conforme al Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, Reforma Libro VI Del Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente, Tablas 1, 3 y 5, los criterios de calidad de agua para: consumo humano y doméstico, actividades agrícolas y pecuarias de coliformes fecales deben ser menores a 1000 NMP/100ml (Ver anexos 8, 9 y 11). Como se puede observar en la tabla 19, los datos obtenidos varían entre 15 – 82 UFC/100 ml = NMP/100 ml, estos resultan ser menores la concentración de referencia, es decir, que la norma se cumple.

### **Comprobación de la exactitud de los resultados**

Los resultados de las muestras de agua obtenidos se sometieron a una comprobación de exactitud, esto se realiza con los métodos ya establecidos presentes en los libros *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils* de Richards (1954) y el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2005), mismos que



se están recomendados por la Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Acuerdo No 061. Los métodos de comprobación que se aplicaron fueron elegidos de acuerdo a los parámetros analizados en el presente estudio.

De acuerdo con Richards (1954), los sólidos disueltos totales y la conductividad eléctrica tienen una relación directa, de manera que estableció que dicha relación está dada por la ecuación (10), la cual representa una recta ideal y toma como pendiente 640, el valor puede variar entre 550 y 750.

$$SDT \text{ calculados} = 640 * CE \quad (10)$$

Donde:

SDT: Sólidos Disueltos Totales

CE: Conductividad Eléctrica

Se aplica esta fórmula para determinar los valores de sólidos disueltos totales (SDT) calculados y se obtiene los valores de estos para cada uno de los puntos de muestreo, dichos resultados se observan en la tabla 20.

**Tabla 20**

*Sólidos Disueltos Totales Calculados*

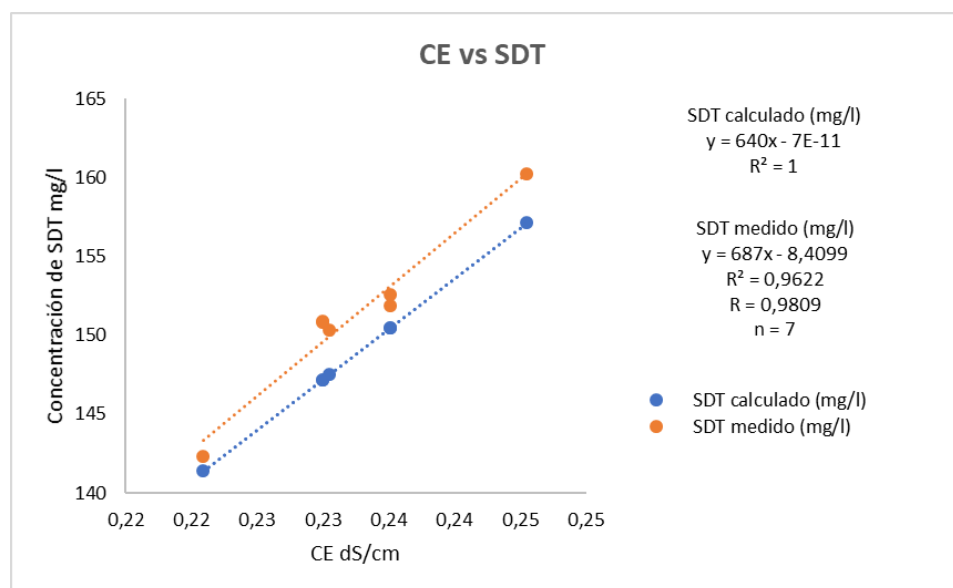
No	Descripción	SDT calculado (mg/l)
1	Quebrada de Juaquinca	147,2
2	Quebrada de Iguillán	150,46
3	Quebrada de Pisajucho	141,376
4	Vertiente 9	147,52
5	Vertiente 10	150,46
6	Vertiente 11	157,12

No	Descripción	SDT calculado (mg/l)
7	Canal de agua (Quebrada de Juaquinca)	147,2

Para las muestras analizadas se obtiene para sólidos disueltos totales (SDT) medidos una pendiente de 687 y un factor de correlación "r" de 0,9809. El presentar un coeficiente de relación cercano a uno quiere decir que se cumple la comprobación (Ver figura 1).

### Figura 19

*Relación Funcional entre CE y SDT*



La segunda comprobación se realiza mediante las concentraciones de Sólidos Disueltos Totales calculados y medidos, para lo cual se utiliza la ecuación (11) perteneciente al Standar Methods. Se obtuvo una relación que varía entre 1,01 a 1,03, esto cumple con la comprobación. Los datos obtenidos se los puede visualizar detalladamente en la Tabla 21.

$$1,0 \leq \frac{SDT \text{ medidos}}{SDT \text{ calculados}} \leq 1,2 \quad (11)$$

Donde:

SDT: Sólidos Disueltos Totales

La tercera y última comprobación se realiza en base a la relación existente entre la conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales, para lo cual se utiliza la ecuación (12) perteneciente al Standar Methods. Para las muestras analizadas en el estudio se obtuvo una relación de 0,64 (Ver Tabla 21), lo cual cumple con la comprobación.

$$\frac{SDT \text{ calculados}}{CE} = 0,55 - 0,7 \quad (12)$$

Donde:

SDT: Sólidos Disueltos Totales

CE: Conductividad Eléctrica

## Tabla 21

### *Comprobación de exactitud de resultados*

<b>Comprobaciones de exactitud de resultados</b>			
No Punto	Descripción	Segunda Comprobación	Tercera Comprobación
1	Quebrada de Juaquinca	1,02	0,64
2	Quebrada de Iguillán	1,01	0,64
3	Quebrada de Pisajucho	1,01	0,64
4	Vertiente 9	1,02	0,64
5	Vertiente 10	1,01	0,64
6	Vertiente 11	1,02	0,64
7	Canal de agua (Quebrada de Juaquinca)	1,03	0,64

## Capítulo V

### Conclusiones y Recomendaciones

#### Conclusiones

- En el presente estudio se ajustó el mapa de delimitación de las zonas de concesión pertenecientes a la Hacienda Ortuño, por lo que se pudo concluir que 329,31 Ha de las zonas de concesión se encuentran dentro de la hacienda y las 57,16 Ha restantes están fuera de los límites de esta.
- El sistema hidrográfico de las quebradas: Juaquinca, Iguilla y Pisajucho pertenecen a la microcuenca del Río Cuilche, la cual posee un área de 58,89 km<sup>2</sup> y un perímetro de 32,26 km. Esta microcuenca forma parte de la subcuenca del Río Patate y por consiguiente de la cuenca del Río Pastaza.
- Los valores obtenidos del factor de forma de Horton 1,85 y el coeficiente de compacidad 1,18 indican que la microcuenca se caracteriza por ser muy ensanchada y casi circular, lo cual aumenta la probabilidad de que se generen crecidas debido a que el agua dentro de la misma posee un tiempo de viaje corto.
- La microcuenca posee un desnivel altitudinal de 888,66 m y una altura media de 3434,96 msnm estos valores están ligados a la variabilidad climática y ecológica de la microcuenca, ya que, mientras más pisos climáticos tenga la misma existirá mayor diversidad de ecosistemas, debido a las variaciones de temperatura y precipitación.

- La pendiente media de la microcuenca es del 21,78%, clasificándose en ligeramente escarpado y la pendiente media de la red hídrica es de 1,65%, clasificándose en plano.
- Se identificó que 368,55 Ha de las zonas de estudio tienen suelos de tipo inceptisol y en las 17,92 Ha restantes predominan los suelos de tipo entisoles, los mismos que poseen una textura que varía entre gruesa y muy fina.
- Las concentraciones obtenidas en los análisis de los parámetros: pH, conductividad, temperatura, sólidos, sulfatos, dureza, cloruro, bicarbonatos, calcio, magnesio, boro, demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno y coliformes fecales, se encuentran dentro de los criterios de calidad según el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, Reforma Libro VI Del Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente para actividades de: riego agrícola, pecuarias y consumo humano y uso doméstico, es decir que estas aguas poseen una calidad apta para su uso en dichas actividades. Esto se debe a que, en las zonas de estudio no se observa contaminación doméstica ni industrial.
- La calidad de agua de las quebradas y vertientes analizadas en este proyecto se podrían ver afectadas por la explotación de material pétreo que se planea realizar en las zonas de estudio, ya que, a pesar de estar entubadas, este sistema no está libre de daños cuando se lleve a cabo esta actividad, la cual puede ocasionar un aumento de sedimentos en las aguas, así como contaminación doméstica e industrial que como se dijo con anterioridad en la actualidad no existe en las zonas.

## Recomendaciones

- Realizar la caracterización de las microcuencas y cuencas hidrográficas de zonas aledañas a las áreas de estudio, con la finalidad de poseer un inventario más detallado y verificar cuales son las limitaciones y potencialidades del entorno en el que se encuentran.
- Dictar talleres informativos en la hacienda Ortuño sobre el aprovechamiento, conservación y cuidado tanto del recurso agua como del recurso suelo, con la finalidad de dar a conocer las ventajas a la salud y economía de los beneficiarios.
- Realizar un análisis de las propiedades físicas y químicas del subsuelo y capa freática de las zonas de estudio para obtener datos más actualizados y corroborar la información obtenida en las distintas fuentes citadas en el presente estudio.
- Analizar  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{CO}_3^-$  en las fuentes de agua para obtener una comprobación de exactitud de datos más completa.
- Realizar un estudio de impacto ambiental ex-ante para conocer de forma más detallada los daños que podría causar la actividad minera en las zonas de estudio, así como los planes de manejo que se deberían llevar a cabo para reducirlos.

## Referencias

- Aguirre, N. (2007). *Manual para el manejo*. 117.
- ANA. (2010). *Autoridad Nacional del Agua de Perú*. [http://www.ana.gob.pe/media/390314/evaluacion\\_rh\\_superficiales\\_rio\\_mantaro.pdf](http://www.ana.gob.pe/media/390314/evaluacion_rh_superficiales_rio_mantaro.pdf)
- Anink, D., Boonstra, C., & Mak, J. (1996). Handbook of Sustainable Building. An Environmental Preference Method for Selection of Materials for Use in Construction and Refurbishment. In *Handbook of Sustainable Building. An Environmental Preference Method for Selection of Materials for Use in Construction and Refurbishment* (pp. 22–28).
- APHA. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (21th ed.). APHA-AWWA-WEF.
- Arenas, C. (2007). *El impacto ambiental en la Edificación. Criterios para una construcción sostenible*. Edisofer.
- Arguello, D. (2015). DISEÑO DE EXPLOTACIÓN DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EXISTENTES EN LA CANTERA “SANTA ANITA”, UBICADA EN LA PARROQUIA SALACHE, CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA DE COTOPAXI. In *Metrología* (Vol. 53, Issue 5). <https://doi.org/10.1590/s1809-98232013000400007>
- Bañón Blazquez, L., & Beviá García, J. F. (2000). *Manual de carreteras 1. Elementos Proyecto*. 409. <http://ingenieriacivilesia.blogspot.com.es/2012/02/manual-de-carreteras-1-y-2-de-luis.html>
- Berrocal, M., & Hernández, S. (2015). *La extracción de gravas: un problema a resolver en la comunidad autónoma de Castilla y León*. 3(2), 54–67. <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>
- Burbano, N., Becerra, S., & Pasquel, E. (2015). *Introducción a la Hidrogeología del Ecuador*. INAMHI.
- Camacho, A., Giles, M., Ortegón, A., Palao, M., & Serrano, B. (2009). *Técnicas para análisis microbiológico*. 1–17. [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TecnicBasicas-Colif-tot-fecales-Ecoli-NMP\\_6529.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TecnicBasicas-Colif-tot-fecales-Ecoli-NMP_6529.pdf)
- Camp, W., & Daugherty, T. (2000). *Manejo de nuestros recursos naturales* (Paraninfo).
- Carrera, D., Guevara, P., Tamayo, L., & Guallichico, D. (2015). Análisis multivariado de las aguas de la Subcuenca del Río Ambi en época de estiaje y su relación con la calidad desde el punto de vista agrícola. *Congreso de Ciencia y Tecnología*, 10. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24133/cctespe.v10i1.36>
- Carrera, D., Ortega, H. M., Ramírez, J., Ramírez, C., Trejo, C., & Becerril, A. (2011). Boro, fosfatos e índices de salinidad del sistema hidrográfico Zahuapan-Atoyac, México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 2(2), 5–21.
- Chang, L. (2013). *Estructuración de un modelo de aplicación de la NIIF 6 para compañías de explotación y evaluación de recursos minerales en el Ecuador*. Pontificia

Universidad Católica del Ecuador.

- Chapman, K., & Smith, A. (1995). *Environmental Resources*. Longman Sc.
- Craig, J., Vaughan, D., & Skinner, B. (2007). *Recursos de la Tierra: Origen, uso e impacto ambiental*. PEARSON.
- Dávila, A. (2009). La cartografía temática. *Dirección Del Geoportal Del IGM*, 15. [www.geoportaligm.gob.ec/portal/?wpfb\\_dl=104](http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/?wpfb_dl=104)
- Dueker, K., & Kjerne, D. (1989). *Multipurpose cadastre: Terms and definitions*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Duhamel, H. (2007). *Tratado del cuidado y aprovechamiento de los montes y bosques: corta, poda, beneficio y uso de sus maderas y leñas*. Dr. Joachin Ibarra.
- Enami. (2012). *Ecuador minero*. 2012.
- FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. (2015). El suelo es un recurso no renovable. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura, FAO.*, 4. [fao.org/soils-2015](http://fao.org/soils-2015)
- Fernández, A. (2012). Water , an essential resource. *Quimica Viva*, 11, 147–170.
- Fernández, J., & Curt, M. (2011). Métodos Analíticos para aguas residuales. *Manual de Fitodepuración. Filtros de Macrofitas En Flotación*, 117–128. [http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia\\_ambiental/outros/Manual de fitodepuracion/Capitulos Anexos1.pdf](http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/outros/Manual%20de%20fitodepuracion/Capitulos%20Anexos1.pdf)  
[http://es.scribd.com/document\\_collections/3001637/widget%0Ah](http://es.scribd.com/document_collections/3001637/widget%0Ah)  
[https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos Man](https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20Man)
- GAD parroquial de San Juan de Pastocalle. (2018). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA SAN JUAN DE PASTOCALLE*. GAD parroquial de San Juan de Pastocalle.
- Garay, D., & Agüero, J. (2018). *Delimitación Hidrográfica y Caracterización Morfométrica de la Cuenca del Río Anzulón*. Ediciones INTA.
- Geoinnova. (2020). *Casos de contaminación minera*. 2015. <https://geoinnova.org/blog-territorio/mineria-medio-ambiente-casos-contaminacion/>
- Guerra, A. (2015). *Propuesta de un plan de manejo ambiental, basado en la Iso 14001:2004, como una herramienta administrativa en la planificación estratégica para la explotación de material pétreo*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Gutiérrez, J. (2019). Usos Generales De La Cartografía. *Academia*, 9–22. [www.cartomap.cl/utfsm/Texto-Topografía/02 Índice.pdf](http://www.cartomap.cl/utfsm/Texto-Topografía/02%20Indice.pdf)
- Guzmán, B. L., Nava, G., & Díaz, P. (2015). Calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbilidad en Colombia, 2008-2012. *Biomédica*, 35. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2511>
- Hernández Jatib, N., Ulloa Carcasés, M., Almaguer-Carmenate, Y., & Rosario Ferrer, Y. (2014). EVALUACIÓN AMBIENTAL ASOCIADA A LA EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN LA INAGUA,



- GUANTÁNAMO, CUBA. *Luna Azul*, 38, 146–158.  
<https://doi.org/10.17151/luaz.2014.38.9>
- Heydari, M. M., & Bidgoli, H. N. (2012). Chemical analysis of drinking water of Kashan District, Central Iran. *World Applied Sciences Journal*, 16(6), 799–805.
- IICA. (2020). *El agua para la agricultura de las Américas (Libro)*.  
<https://agua.org.mx/biblioteca/el-agua-para-la-agricultura-de-las-americas-libro/>
- Jadhav, A., Patil, D., & Dattatray, P. (2013). Systematic Investigation of Hydro-Chemical Characteristics of Six Different Lakes in and around Kolhapur city , Maharashtra , India. *ResearchGate*, 1(8), 2036–2050.  
[https://www.researchgate.net/publication/259272875\\_Systematic\\_Investigation\\_of\\_Hydro-Chemical\\_Characteristics\\_of\\_Six\\_Different\\_Lakes\\_in\\_and\\_around\\_Kolhapur\\_city\\_Maharashtra\\_India](https://www.researchgate.net/publication/259272875_Systematic_Investigation_of_Hydro-Chemical_Characteristics_of_Six_Different_Lakes_in_and_around_Kolhapur_city_Maharashtra_India)
- JICA. (2013). *Guía para el uso de rotafolio III: manejo comunitario de los recursos naturales*.
- Jiménez, A. (2000). Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. *Determinación de Los Parámetros Físico-Químicos de Calidad de Las Aguas*, 2(23), 12–19.
- Jumbo, F. (2015). *Delimitación y codificación mediante el método Pfafetter de las unidades hidrográficas de la cuenca del río Jubones, Ecuador* [University of Salzburg]. [https://issuu.com/unigis\\_latina/docs/jumbo](https://issuu.com/unigis_latina/docs/jumbo)
- Lema, M., & Plaza, V. (2006). *Modelación hidrológica de la cuenca alta y media del río Pastaza aplicando el modelo WEAP* [Escuela Politécnica Nacional].  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1780>
- Lodoño, C. (2001). *Cuencas hidrográficas: Bases conceptuales- Caracterización- Planificación- Administración* [Universidad del Tolima].  
<https://docplayer.es/11540081-Cuencas-hidrograficas.html>
- López, F. (2006). Restauración Hidrológica Forestal de Cuencas y Control de Erosión. In *Restauración Hidrológica Forestal de Cuencas y Control de Erosión* (pp. 389–414). Mundi Prensa. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DO2003100001>
- MAE. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*.
- MAG, (Ministerio de Agricultura y Ganadería). (2017). Memoria explicativa del Mapa de Órdenes de Suelos del Ecuador. *SIGTIERRAS (Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica)*, 15.  
[http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/MEMORIA\\_MAPA\\_DE\\_ORDENES\\_DE\\_SUELOS\\_MAG\\_SIGTIERRAS.pdf](http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/MEMORIA_MAPA_DE_ORDENES_DE_SUELOS_MAG_SIGTIERRAS.pdf)
- Martínez, J. (2017). *Extracción de Material de Arrastre en Cuerpos de Agua - Caso de Estudio: Río Purnio*. Universidad Católica de Manizales.
- Miller, T. (1991). *Environmental science: Sustaining the earth* (Wadsworth).

- Ministerio de Agricultura y Alimentación. (1978). *Estudio de los Parámetros Geomorfológicos de una Cuenca*.
- Minor, J. (2007). Fecal Coliform Bacteria. In *Encyclopedia of Environment and Society*. SAGE Publications, Inc. <https://doi.org/10.4135/9781412953924.n399>
- Muhammad, S., & Nadeem, S. (2014). *Determination of Water Quality Parameters of Water Supply in Different Areas of Karachi City*. *I*(12), 6030–6050.
- ONU. (2015). ONU. Organización de Las Naciones Unidas. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Paladines, A. (2002). *La minería en el contexto de la ordenación del territorio* (CYTED-CETE).
- Piedra, V., & Andrade, P. (2017). *Análisis de especies orgánicas e inorgánicas del sistema hidrográfico del río Ambi, a través de modelos unidimensionales y geoestadísticos*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Rai, D., & Zachara, J. (1984). *Chemical Attenuation Rates, Coefficients, and Constants in Leachate Migration: Final Report. A critical review*. [https://books.google.com.ec/books/about/Chemical\\_Attenuation\\_Rates\\_Coefficients.html?id=2d5cmAECAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Chemical_Attenuation_Rates_Coefficients.html?id=2d5cmAECAAJ&redir_esc=y)
- Ramesh, C. (2017). Which Physical , Chemical and Biological Parameters of water determine its quality? *ResearchGate*, June, 1–74. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29178.90569>
- Ramírez Hernández, V., & Antero Arango, J. (2014). Evolución de las teorías de explotación de recursos naturales: hacia la creación de una nueva ética mundial. *Luna Azul*, 39, 291–313. <https://doi.org/10.17151/luaz.2014.39.17>
- Rao, T., & Ranganathan, K. (2013). Hydrogeochemistry and groundwater quality assessment of Ranipet industrial area, Tamil Nadu, India. *Journal of Earth System Science*, 122(3), 855–867. <https://doi.org/10.1007/s12040-013-0295-x>
- Richards, L. (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 18(3), 348. <https://doi.org/10.2136/sssaj1954.03615995001800030032x>
- Rivadeneira, J. (2010). Peces comunes de la Cuenca del Pastaza-Ecuador. *ResearchGate*, 48. [https://www.researchgate.net/publication/282852723\\_Peces\\_comunes\\_de\\_la\\_Cuenca\\_del\\_Pastaza-Ecuador](https://www.researchgate.net/publication/282852723_Peces_comunes_de_la_Cuenca_del_Pastaza-Ecuador)
- Rodríguez, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre. *Pensamiento Actual*, 9(12), 125–134.
- Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Universidad de Antioquia. [https://books.google.com.ec/books/about/Fundamentos\\_de\\_limnología\\_neotropical](https://books.google.com.ec/books/about/Fundamentos_de_limnología_neotropical).

html?id=FA5Jr7pXF1UC&redir\_esc=y

- Romero, J. (1999). *Calidad de Agua*. Alfaomega. [https://www.academia.edu/38972813/Calidad\\_del\\_Agua\\_ROMERO\\_ROJAS](https://www.academia.edu/38972813/Calidad_del_Agua_ROMERO_ROJAS)
- Russo, R. (2002). Recursos Naturales, Uso, Conservación, Sostenibilidad e Investigación. *Universidad EARTH*, 10. <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/50000065.PDF>
- Sánchez, E. (2017). *Análisis mineralógico y multielemental de la ceniza volcánica, colectada en una hacienda en el sector de Machachi, por difracción de rayos X (XRD) y espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), y sus posibles aplicaciones e impacto*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Sandoval, A. (1991). Adiestramiento para la prevención y control de las enfermedades gastrointestinales en el sector agua: sistema de información. *IRC*, 2, 10. <https://www.ircwash.org/node/44204>
- Smith, T. S. R. (2000). *Ecología*. Pearson Education.
- Torres, J. C. (2014). *Necesidad de reformar la ley de minería para la explotación técnica de los materiales áridos y pétreos por parte de los GADs del Ecuador, a fin de prevenir la contaminación ambiental*. Universidad Nacional de Loja.
- Torres, L. (2011). *Estudio de las fuentes de material pétreo de la mina de Mulaló, Salcedo y la Maná; provincia de Cotopaxi y su utilidad en la construcción de obras viales*. [Universidad Técnica de Ambato]. <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/5301/Mg.DCEv.Ed.1859.pdf?sequence=3>
- UNEP. (2016). *A Snapshot of the World's Water Quality, Towards a global assessment*. [http://uneplive.unep.org/media/docs/assessments/unep\\_wwqa\\_report\\_web.pdf](http://uneplive.unep.org/media/docs/assessments/unep_wwqa_report_web.pdf)
- Valle, P., Acosta, A., & Salvatierra, C. (2011). *Agregados utilizados en obras civiles extraídos de la cantera San Luís*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Vision, W. (2004). Manual de manejo de cuencas. *San Salvador, SV*, 107.
- Vizcardo, T., & Trinidad, L. (2014). *Agregados para la construcción (piedra y arena)*. [Universidad Nacional Federico Villarreal]. <https://es.slideshare.net/ludwigtrinidad/agregados-para-la-construccion>
- Waggott, A. (1969). An investigation of the potential problem of increasing boron concentrations in rivers and water courses. *Water Research*, 3(10), 749–765. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(69\)90039-6](https://doi.org/10.1016/0043-1354(69)90039-6)
- Wani, S. P., & Garg, K. K. (2008). Community watersheds for improved livelihoods through consortium approach in drought prone rain-fed areas. *Journal of Hydrological Research and Development*, 23, 55–77.
- Yépez, M. (2015). *Los Recursos Naturales Y El Manejo De Cuencas Hidrográficas*. [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/8749>

**Anexos**