



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

### **CARRERA DE INGENIERIA EN MEDIO AMBIENTE**

**IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE IMPORTANCIA HÍDRICA EN EL PISO BIOCLIMÁTICO (BsBnO4) DE 1400 A 2000msnm, DENTRO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “RECUPERACIÓN DE GERMOPLASMA DE ESPECIES VEGETALES DE LA ZONA NOR-OCCIDENTAL” EN LA PARROQUIA EL TINGO, CANTÓN PUJILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI, 2018.**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniera en Medio Ambiente.

**Autora:**

Verónica Paulina Villacís Villacís

**Tutor:**

Ing. José Andrade Valencia. Mg.

**LATACUNGA-ECUADOR**

Agosto 2018.

## DECLARACIÓN DE AUDITORIA

Yo, **Verónica Paulina Villacís Villacís** declaro ser autora del presente proyecto de investigación: **“IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE IMPORTANCIA HÍDRICA EN EL PISO BIOCLIMÁTICO (BsBnO4) DE 1400 A 2000MSNM, DENTRO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “RECUPERACIÓN DE GERMOPLASMA DE ESPECIES VEGETALES DE LA ZONA NOR-OCCIDENTAL” EN LA PARROQUIA EL TINGO, CANTÓN PUJILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI, 2018”**, siendo el Ing. José Andrade Valencia tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

---

**Verónica Paulina Villacís Villacís**

**C.I.: 050358302-3**

## **CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR**

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **VILLACÍS VILLACÍS VERÓNICA PAULINA**, identificada con C.C. N° **050358302-3**, de estado civil CASADA y con domicilio en la Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Sector La FAE, Conjunto Puerto Alegría, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, el Ing. MBA. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez Barrio El Ejido Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **EL CESIONARIO** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.- LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de **INGENIERÍA DE MEDIO AMBIENTE**, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE IMPORTANCIA HÍDRICA EN EL PISO BIOCLIMÁTICO (BsBnO4) DE 1400 A 2000MSNM, DENTRO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “RECUPERACIÓN DE GERMOPLASMA DE ESPECIES VEGETALES DE LA ZONA NOR-OCCIDENTAL” EN LA PARROQUIA EL TINGO, CANTÓN PUJILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI, 2018”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

### **HISTORIAL ACADÉMICO.**

**Fecha de inicio:** Septiembre\_2013-Febrero\_2014

**Fecha de finalización:** Abril-Agosto 2018

Aprobación HCA.: 15 Agosto-2018

Tutor. Ing. José Andrade Valencia. Mg.

Tema: **“IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE IMPORTANCIA HÍDRICA EN EL PISO BIOCLIMÁTICO (BsBnO4) DE 1400 A 2000MSNM, DENTRO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “RECUPERACIÓN DE GERMOPLASMA DE ESPECIES**

**VEGETALES DE LA ZONA NOR-OCCIDENTAL” EN LA PARROQUIA EL TINGO, CANTÓN PUJILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI, 2018”.**

**CLÁUSULA SEGUNDA.- EL CESIONARIO** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación Ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.-** Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **EL CESIONARIO** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA.- OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **EL CESIONARIO** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.-** El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **EL CESIONARIO** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.-** El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA.- CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.-** Por medio del presente contrato, se cede en favor de **EL CESIONARIO** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA.- LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.- EL CESIONARIO** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.-** El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en las cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.-** En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.-** Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, al 15 de Agosto del 2018.

---

Villacís Villacís Verónica Paulina.  
**LA CEDENTE**

---

Ing. MBA. Cristian Tinajero Jiménez  
**EL CESIONARIO**

## **AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

**“IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE IMPORTANCIA HÍDRICA EN EL PISO BIOCLIMÁTICO (BsBnO4) DE 1400 A 2000 MSNM, DENTRO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “RECUPERACIÓN DE GERMOPLASMA DE ESPECIES VEGETALES DE LA ZONA NOR-OCCIDENTAL” EN LA PARROQUIA EL TINGO, CANTÓN PUJILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI, 2018”**, de Villacís Villacís Verónica Paulina, de la carrera Ingeniería de Medio Ambiente, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad Académica de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Agosto 2018

El Tutor

---

Ing. José Andrade Valencia Mg.

CI: 050252448-1

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN**

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante, **VERÓNICA PAULINA VILLACÍS VILLACÍS**, con el título de Proyecto de Investigación: **“Identificación de las áreas de importancia hídrica en el piso bioclimático (BsBnO4) de 1400 a 2000msnm, dentro del proyecto de investigación “RECUPERACIÓN DE GERMOPLASMA DE ESPECIES VEGETALES DE LA ZONA NOR-OCCIDENTAL” en la parroquia el Tingo, Cantón Pujilí, Provincia de Cotopaxi, 2018”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Agosto 2018

Para constancia firman:

---

**Lector 1 (Presidente)**

Lcdo. Jaime Lema. Mg

CC: 171375993-2

---

**Lector 2**

Ing. Mercy Ilbay Mg.

CC: 060414790-0

---

**Lector 3**

Ing. Juan Espinoza MSc

CC: 171347432-6

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por haberme regalado la vida, por brindarme la fortaleza necesaria para alcanzar mis metas, por presentar en mi camino a personas extraordinarias que han sido mi apoyo fundamental, de manera especial:

A mis padres, mis hermanas y mis sobrinos especialmente a mi hijo Ian Jahir y a mi esposo Kleber por ser el principal eje de apoyo, por estar siempre a mi lado en los momentos de alegría y tristeza siendo el pilar fundamental que siempre me motivo a continuar para alcanzar mi sueño.

Finalmente agradezco a quienes me apoyaron a la realización de esta investigación, a mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza, un agradecimiento a esta prestigiosa Universidad Técnica de Cotopaxi la cual abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

**Paulina V.**



## **DEDICATORIA**

Principalmente a Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi pequeño hijo Ian Jahir, gracias por brindarme sus dulces sonrisas y su tierno afecto que me motivo a seguir adelante cuando las cosas se tornaban difíciles.

A mi esposo Kleber, mis padres, suegros, hermanas, cuñados y sobrinos gracias por sus palabras de aliento, por brindarme siempre su amor, sus consejos, por su apoyo moral y económico a lo largo de mi carrera, este logro es por ustedes.

Finalmente a mis docentes y amigas, aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario.

**Paulina V.**

# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**TITULO:** Identificación de las áreas de importancia hídrica en el piso bioclimático (BsBnO4) de 1400 a 2000 msnm, dentro del proyecto de investigación “RECUPERACIÓN DE GERMOPLASMA DE ESPECIES VEGETALES DE LA ZONA NOR-OCCIDENTAL” en la Parroquia el Tingo, Cantón Pujilí, Provincia de Cotopaxi, 2018.

**Autor:** Villacís Villacís Verónica Paulina

### **RESUMEN**

En el piso bioclimático BsBnO4 de la cuenca del río San Pablo (CrSP) se ubica en la Provincia de Cotopaxi y los cantones de Pujilí (52.36km<sup>2</sup>), la Maná (1.44km<sup>2</sup>) y Sigchos (22.32km<sup>2</sup>), con una altura que va desde los 1400 a 2000 msnm, se caracteriza por tener una forma irregular con una buena densidad de drenaje con 65% de suelos franco arcillosos, 30% de bosques húmedos y 5% de cultivos. Posterior a ello se descartó erosiones de suelos en la zona de estudio, pero la climatología del lugar hizo posible el cálculo del balance hídrico mediante el método RAS para determinar, evaluar y definir aspectos relacionados a las áreas de recarga hídrica, que con ayuda del software ArcGis 10.2 con base al estudio y levantamiento de información realizado mediante la página del Sistema Nacional de Información en formatos shapefiles se pudo realizar mapas georreferenciados de evapotranspiración (1350), balance climático (900) con una infiltración de 0.45% dejando así una gran acumulación del recurso hídrico en la zona 4 (Bosque Húmedo), de acuerdo a esto haciendo referencia a la ley forestal y ley de aguas se planteó medidas para conservar los bosques y principales áreas protegidas existentes en la CrSP como la preservación de especies endémicas que solo se encuentra en este tipo de zonas húmedas, haciendo un énfasis primordial en el mejor uso y aprovechamiento de las zonas de recarga hídrica y sus acumulaciones por año.

**COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY**  
**AGRICULTURAL AND NATURAL RESOURCES FACULTY**

**THEME:** Identification of water areas importance in the bioclimatic floor (BsBnO4) from 1400 to 2000 meters above sea level, within the research project "GERMPLASM RECOVERY OF VEGETABLE SPECIES OF THE NORTH-WESTERN ZONE" in Tingo Parrish, Pujilí Canton, Cotopaxi Province, 2018

**Author:** Villacís Villacís Verónica Paulina

**ABSTRACT**

The bioclimatic floor BsBn04 of the San Pablo river basin (CrSP), it is located in the Cotopaxi Province and the Pujilí Canton (52.36km<sup>2</sup>), La Maná Canton (1.44km<sup>2</sup>) and Sigchos Canton (22.32km<sup>2</sup>) with a height from 1400 to 2000 meters above sea level, it is characterized by having an irregular shape with a good drainage density with 65% of clay loam soils, 30% of humid forests and 5% of crops. After that, soil erosions were ruled out in the study area, but the climatology of the place made it possible to calculate the water balance using the RAS method to determine, evaluate and define aspects related to water recharge areas where the software ArcGis 10.2 based on the study and survey of information made through the National Information System page in shapefiles formats, georeferenced maps of evapotranspiration (1350), climatic balance (900) with an infiltration of 0.45% could be made, thus leaving a significant accumulation of water resource in zone 4 (Humid Forest); according to this, referring to the forestry law and water law, measures were proposed to conserve the forests and main protected areas existing in the CrSP as the preservation of endemic species that is only found in this type of wetlands, a primary emphasis on the best use and utilization of water recharge zones and their accumulations per year was done.

## ÍNDICE

DECLARACIÓN DE AUDITORIA.....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR .....	iii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	vi
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
DEDICATORIA.....	ix
RESUMEN .....	x
ABSTRACT.....	xi
INDICE.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	2
4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN: .....	3
5. OBJETIVOS: .....	4
5.1. General .....	4
5.2. Específicos .....	4
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS:.....	5
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	6
7.1. El agua.....	6

7.2.	Hidrología.....	6
7.3.	Cuencas Hídricas.....	6
7.3.1.	Tipos de cuencas .....	7
7.3.	Ciclo Hidrológico.....	8
7.3.1.	El ciclo hidrológico podría considerarse como un sistema. ....	9
7.4.	Zonas de Recarga Hídrica.....	10
7.4.1.	Clasificación de las zonas de recarga hídrica .....	11
7.5.	BsBnO4 Bosque siempreverde montano bajo de Cordillera Occidental de los Andes. ....	12
7.6.	Conservación de los recursos hídricos.....	12
8.	PREGUNTA CIENTIFICA .....	13
9.	METODOLOGÍA. ....	14
9.3.	Delimitación y caracterización del área de estudio .....	14
9.3.1.	Ubicación geográfica y división política administrativa .....	14
9.3.2.	Características morfométricas .....	15
9.3.3.	Características hidrológicas .....	16
9.3.4.	Características biofísicas generales .....	17
9.4.	CLASIFICAR LAS PRINCIPALES ZONAS DE RECARGA HÍDRICA. ...	18
9.4.1.	Zonificación Territorial del área de recarga hídrica (ARH).....	18
9.4.2.	Cálculo del RAS.....	21
10.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS: .....	23
10.1.	Delimitar y caracterizar la cuenca hidrográfica del área de estudio. ....	23
10.1.1.	Ubicación geográfica y división política administrativa .....	23
10.1.2.	CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS .....	25
10.1.3.	Características hidrológicas .....	25

10.1.4.	Características biofísicas generales .....	27
10.1.5.	Suelo .....	34
10.1.6.	Principales amenazas naturales.....	39
10.1.7.	Áreas protegidas.....	42
10.2.	<b>CLASIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES ZONAS DE RECARGA HÍDRICA.....</b>	<b>44</b>
10.2.1.	Zonificación Territorial del área de recarga hídrica (ARH).....	44
10.2.2.	Método RAS de (Junker, 2005).....	46
10.2.3.	Coefficiente de infiltración.....	48
10.2.4.	RAS .....	51
10.2.5.	Priorización de las zonas de recarga hídrica .....	51
10.3.	<b>MEDIDAS DE CONSERVACION DEL RECURSO HIDRICO .....</b>	<b>53</b>
11.	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>55</b>
12.	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>57</b>
13.	<b>ANEXOS.....</b>	<b>59</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1: Datos Generales de los Beneficiarios del Proyecto Directos. ....</b>	<b>2</b>
<b>Tabla 2: Datos Generales de los Beneficiarios del Proyecto Indirectos. ....</b>	<b>2</b>
<b>Tabla 3. Valores kg y ciclos vegetativos .....</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 4. Valores de kp.....</b>	<b>21</b>
<b>Tabla 5. Valores kv.....</b>	<b>22</b>
<b>Tabla 6. Valores kfc.....</b>	<b>22</b>
<b>Tabla 7: Distribución de la superficie cantonal en la zona de estudio. ....</b>	<b>24</b>
<b>Tabla 8: Rangos de Pendiente. ....</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 9: Información muestra del archivo de permeabilidad.....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 10: Clases de permeabilidad. ....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 11: Usos de suelos del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo. .....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 12: Cobertura vegetal del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo. .....</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 13: Promedios en cada zona de recarga hídrica.....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 14: Evapotranspiración Potencial.....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 15: Evapotranspiración real. ....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla 16: Determinación del kv,kp y kfc .....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 17: Cálculo del RAS .....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 18: Tabla de resumen.....</b>	<b>52</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Ilustración 1: Ubicación de la CrSP en la Provincia de Cotopaxi.....</b>	<b>14</b>
<b>Ilustración 2: Modelo matemático de ETP de Oudin.....</b>	<b>20</b>
<b>Ilustración 3: Ubicación del piso bioclimático BsBn04 en la Provincia de Cotopaxi23</b>	
<b>Ilustración 4: Zona de estudio del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo. .....</b>	<b>24</b>
<b>Ilustración 5: Red de drenaje del piso bioclimático BsBn04 la cuenca del río San Pablo. .....</b>	<b>26</b>
<b>Ilustración 6: Cauce principal del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo. .....</b>	<b>27</b>
<b>Ilustración 7: Isoyetas del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.28</b>	
<b>Ilustración 8: Isotermas del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo. .....</b>	<b>29</b>
<b>Ilustración 9: Pendientes del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo. .....</b>	<b>30</b>
<b>Ilustración 10: Tipo de pendiente que se encuentra en la CrSP .....</b>	<b>31</b>
<b>Ilustración 11: Litología del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo. .....</b>	<b>32</b>
<b>Ilustración 12: Permeabilidad del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo. .....</b>	<b>34</b>
<b>Ilustración 13: Usos de suelos del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo. .....</b>	<b>36</b>
<b>Ilustración 14: Cobertura vegetal del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.....</b>	<b>37</b>
<b>Ilustración 15: Aptitud del suelo en el bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo. .....</b>	<b>38</b>



<b>Ilustración 16: Actividad Sísmica en el piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.....</b>	<b>40</b>
<b>Ilustración 17: Fallas geológicas en el piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.....</b>	<b>41</b>
<b>Ilustración 18: Área de inundaciones en el piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.....</b>	<b>42</b>
<b>Ilustración 19: Reserva Ecológica en el piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.....</b>	<b>43</b>
<b>Ilustración 20: Área de recarga hídrica del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.....</b>	<b>44</b>
<b>Ilustración 21: Temperaturas del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo. ....</b>	<b>45</b>
<b>Ilustración 22: Evapotranspiración del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.....</b>	<b>47</b>
<b>Ilustración 23: Determinación del kv del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.....</b>	<b>48</b>
<b>Ilustración 24: Determinación del kp del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.....</b>	<b>49</b>
<b>Ilustración 25: Determinación del kfc del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.....</b>	<b>50</b>
<b>Ilustración 26: Priorización de las ZRH del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.....</b>	<b>52</b>

## **1. INTRODUCCIÓN.**

La Investigación fue enfocada a delimitar y caracterizar la cuenca hidrográfica del área de estudio, clasificar las principales zonas de recarga hídrica y proponer medidas para el manejo y conservación del recurso hídrico. Así mismo está dirigida a cuantificar todos los parámetros que definen su estructura física y territorial con el fin de identificar las posibles limitaciones que la cuenca en estudio puede presentar para posteriormente plantear posibles soluciones. El diagnóstico es un paso previo al inicio de nuevas actividades o proyecto, este ayuda a conocer y determinar los aspectos importantes de la cuenca en estudio ayuda a identificar los principales problemas para jerarquizarlos y encontrar la causa consecuencia y actores de los mismos. La zonificación es parte del proceso de ordenamiento territorial de carácter biofísico, consiste en delimitar áreas o zonas con un manejo o destino homogéneo que en el futuro serán sometidas a normas de uso a fin de cumplir los objetivos para el área, con el marco jurídico se puede garantizar la sostenibilidad en el tiempo socioeconómico y el mejoramiento de la calidad de vida. En la Cuenca del río San Pablo existe abundancia estacional de agua, al mismo tiempo ha estado sujeta a un intenso deterioro ambiental caracterizado por la deforestación, erosión, sedimentación y contaminación que son las causas principales del deterioro de la calidad de los recursos hídricos. La cuenca hidrográfica debido a su excepcional posición planetaria, extensión, producción, población, recursos naturales y mega diversidad, constituye una zona potencial de elevado interés para el país y para la comunidad internacional.

## 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

El presente trabajo de investigación se realizó debido a que existe la degradación de suelo, en el piso bioclimático (BsBnO4) en la Parroquia El Tingo, Cantón Pujilí, Provincia de Cotopaxi ya que las propiedades físico-químicas del suelo son alteradas en su estructura, esta modificación se origina por la erosión y la compactación del suelo, derivada de la deforestación por la tala y quema de bosque, así como por la actividad agrícola que existen en el sector, el arrastre de sedimentos contaminados de los cuerpos de agua, alteran su estructura y dinámica hidrológica.

La deforestación y la compactación del suelo modifican los procesos de infiltración y escurrimiento superficial del agua, ocasionando una reducción de los depósitos de agua subterránea por disminución de la infiltración así como un incremento de la escorrentía del agua lluvia.

La identificación de las zonas de recarga hídrica son ubicadas en el espacio por medio de mapas georreferenciados ya que no existe información sobre este tipo de áreas. Esta información sirve para concientizar acerca del manejo y protección de los recursos hídricos, procurando el cuidado de los ecosistemas y en beneficio de los pobladores que habitan en el lugar a la mejora de su calidad de vida.

## 3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.

*Tabla 1: Datos Generales de los Beneficiarios del Proyecto Directos.*

<b>Beneficiarios</b>		<b>Hombre</b>	<b>Mujeres</b>
<b>Directos</b>	Departamento de investigación	<b>10</b>	<b>5</b>

**Tabla 2: Datos Generales de los Beneficiarios del Proyecto Indirectos.**

<b>Beneficiarios</b>		<b>Hombre</b>	<b>Mujeres</b>
<b>Indirectos</b>	Población de la parroquia Tingo.	<b>2.081</b>	<b>1.970</b>

Fuente: INEC, 2015

#### **4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

El mundo se enfrenta grandes desafíos de desarrollo por el acceso a agua que brinda beneficios a ciudades habitables, seguridad alimentaria y energética, empleos generados gracias al crecimiento económico y ecosistemas saludables, si los países no gestionan mejor sus recursos hídricos. El crecimiento demográfico y económico y la mayor variabilidad climática, exacerbarán aún más la actual presión sobre el agua. El Banco Mundial, como uno de los financistas externos clave de la gestión de los recursos hídricos apoya iniciativas en varios países con el objetivo terminar con la pobreza extrema en 2030 y promover la prosperidad compartida para el 40 % más pobre de la población en todas las naciones. (BancoMundial, 2013).

Ecuador basa su abastecimiento de agua en depósitos superficiales y subterráneos, la mayoría proveniente del proceso de acumulación agua subterránea. Las aguas subterráneas abastecen de agua potable por lo menos al 50% de la población mundial y representan el 43% de toda el agua utilizada para el riego. (FAO, 2015)

La disponibilidad de agua se enfrenta a las presiones de la contaminación. Se espera que la eutrofización de las aguas superficiales y las zonas costeras aumente en casi todas partes hasta el 2030. A nivel mundial, el número de lagos con floraciones de algas nocivas aumentará un 20% por lo menos hasta 2050. (UNDESA, 2012).

Dentro del territorio de Cotopaxi se encuentran parte de cuatro cuencas hídricas: la de Esmeraldas y del Guayas del Régimen Occidental, y la del Pastaza y el Napo del Régimen Oriental, en las cuales se puede determinar las cuencas hídricas topográficamente. (FlacsoAndes, 2010).

En la parroquia El Tingo, Cantón Pujilí, Provincia de Cotopaxi, hasta el momento no se han identificado las zonas de recarga hídrica, por lo que será necesario la generación de esta información para determinar la importancia de estos espacios en el manejo de recurso hídrico.

## **5. OBJETIVOS.**

### **5.1. General**

Identificar de las áreas de importancia hídrica en el piso bioclimático (BsBnO4) de 1400 a 2000 msnm, dentro del proyecto de investigación “RECUPERACIÓN DE GERMOPLASMA DE ESPECIES VEGETALES DE LA ZONA NOR-OCCIDENTAL” en la Parroquia el Tingo, Cantón Pujilí, Provincia de Cotopaxi, 2018.

### **5.2. Específicos**

- Delimitar y caracterizar la cuenca hidrográfica del área de estudio.
- Clasificar las principales zonas de recarga hídrica.
- Proponer medidas para el manejo y conservación del recurso hídrico.

## 6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.

OBJETIVOS	ACTIVIDAD	RESULTADO DE LA ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD
<b>Objetivo 1</b>			
Delimitar y caracterizar la cuenca hidrográfica del área de estudio.	Delimitación y caracterización del área de estudio con el software ArcGis 10.2	Zona de estudio del piso bioclimático BsMn03	Se recopiló información del Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca (MAGAP) en formato shapefile de textura, cobertura vegetal, aptitud agrícola.
<b>Objetivo 2</b>			
Clasificar las principales zonas de recarga hídrica.	Desarrollo de mapas con el software ArcGis 10.2	Identificación de las zonas de recarga hídrica	Se descargó información de la página web perteneciente al Sistema Nacional de Información, en formato shapefile.
<b>Objetivo 3</b>			
Proponer medidas para el manejo y conservación del recurso hídrico.	Elaboración del mapa de priorización de la zona de recarga hídrica	Se zonificó las áreas de mayor acumulación hídrica.	Se basó en las leyes de recursos hídricos y la ley forestal del Ecuador.
<b>Elaborado por:</b> Villacís P., 2018			

## **7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.**

### **7.1. El agua**

Sustancia de importancia para la vida formada por una molécula sencilla por tres pequeños átomos, uno de oxígeno y dos de hidrógeno, con enlaces polares que permiten establecer puentes de hidrógeno entre moléculas adyacentes. Considerada como uno de los recursos naturales más fundamentales para el desarrollo de la vida, y junto con el aire, la tierra y la energía, constituye los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo. (Auge, 2007)

El agua es un recurso natural no renovable, importante para los seres vivos, es uno de los elementos más importantes de la naturaleza, el agua dulce se obtiene principalmente por su caída a la tierra en forma de lluvia, fluye por la superficie terrestre creando arroyos, ríos y lagunas, está en constante movimiento de acuerdo a la topografía por donde se desliza; de esta manera, el agua viaja siguiendo la trayectoria que le marcan los suelos, los declives, las quebradas y hondonadas, formando lo que llamamos una cuenca. (Auge, 2007)

### **7.2. Hidrología.**

La Hidrología es el estudio del agua siendo la ciencia que estudia su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre; sus propiedades físicas y químicas y su relación con el medio ambiente incluyendo a los seres vivos. Esta ciencia está constituida por aquellas partes que atañen al diseño, construcción y operación de proyectos de Ingeniería para el control y aprovechamiento del agua. En la fase de planificación y diseño, el análisis hidrológico se dirige básicamente en fijar la capacidad y seguridad de las estructuras hidráulicas. (SAGARPA, 2012)

### **7.3. Cuenca Hidrográfica.**

Es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal, a un río muy grande, a un lago o a un mar. Este es un ámbito tridimensional que integra las interacciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de la línea divisoria de las aguas. En la cuenca hídrica se encuentran los recursos naturales y la infraestructura creada por las personas, en las

cuales desarrollan sus actividades económicas y sociales generando diferentes efectos favorables y no favorables para el bienestar humano. (Mundial V. , 2004).

### **7.3.1. Tipos de cuencas**

#### **7.3.1.1. Por su tamaño geográfico:**

Las cuencas hidrográficas pueden ser:

- Grandes
- Medianas
- Pequeñas

Los conceptos de pequeñas cuencas o microcuencas, pueden ser muy relativos cuando se desarrollen acciones, se recomienda entonces utilizar criterios conjuntos de comunidades o unidades territoriales manejables desde el punto de vista hidrográfico.

#### **7.3.1.2. Por su ecosistema**

Según el medio o el ecosistema en la que se encuentran, establecen una condición natural así tenemos:

- Cuencas áridas
- Cuencas tropicales
- Cuencas frías
- Cuencas húmedas

#### **7.3.1.3. Por su objetivo**

Por su vocación, capacidad natural de sus recursos, objetivos y características, las cuencas pueden denominarse:

- Hidroenergéticas
- Para agua poblacional,
- Agua para riego,
- Agua para navegación
- Ganaderas y



- De uso múltiple

#### **7.3.1.4. Por su relieve**

Considerando el relieve y accidentes del terreno, las cuencas pueden denominarse:

- Cuencas planas,
- Cuencas de alta montaña,
- Cuencas accidentadas o quebradas

#### **7.3.1.5. Por la dirección de la evacuación de las aguas**

Según (Ordoñez, 2011), menciona que existen tres tipos de cuencas:

- **Exorreicas o abiertas:** drenan sus aguas al mar o al océano.
- **Endorreicas o cerradas:** Formada por los ríos que desaguan en mares interiores, lagos o lagunas, son cuencas cerradas que retienen el agua y no permiten salidas a otros cuerpos de aguas, como ríos u océanos, pero convergen en lagos o mares interiores, pueden ser permanentes o temporales, que llegan a su equilibrio mediante evaporación
- **Arreicas:** No es una cuenca en su sentido hidrológico, sino una región continental interior, sin salida al mar y sin una red de drenaje definida. Es decir que corresponden a cuencas que generalmente carecen de cursos de agua o en las que es muy difícil determinar la divisoria de agua debido a su lento escurrimiento. Son cuencas cuyas aguas no desembocan ni en lagos ni en mares, pues se evaporan o se infiltran al suelo, desapareciendo del paisaje.

### **7.3. Ciclo Hidrológico**

(Chereque, 2011) Menciona que el Ciclo Hidrológico es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y re-evaporación. El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte re-circulatorio e indefinido o permanente, este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la

segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento). En resumen se entiende como el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso) como en su forma (superficial, sub-superficial, subterránea.).

Según (GUEVARA, 2011) los fenómenos hidrológicos son muy complejos, por lo que nunca pueden ser totalmente conocidos. Sin embargo, a falta de una concepción perfecta, se pueden representar de una manera simplificada mediante el concepto de sistema. Un sistema viene a ser un conjunto de partes diferenciadas que interactúan como un todo.

### **7.3.1. El ciclo hidrológico podría considerarse como un sistema.**

Según (MUSY, 2001) menciona los siguientes componentes:

#### **7.3.1.1.Evaporación.**

El agua se evapora en la superficie oceánica, sobre la superficie terrestre y también por los organismos, en el fenómeno de la transpiración en plantas y sudoración en animales. Los seres vivos, especialmente las plantas, contribuyen con un 10% al agua que se incorpora a la atmósfera. En el mismo componente capítulo podemos situar la sublimación, cuantitativamente muy poco importante, que ocurre en la superficie helada de los glaciares.

#### **7.3.1.2.Precipitación.**

Se produce cuando las gotas de agua que forman las nubes se enfrían acelerándose la condensación y uniéndose las gotitas de agua para formar gotas mayores que terminan por precipitarse a la superficie terrestre en razón a su mayor peso. La precipitación puede ser sólida (nieve o granizo) o líquida (lluvia).

#### **7.3.1.3.Infiltración.**

Ocurre cuando el agua que alcanza el suelo, penetra a través de sus poros y pasa a ser subterránea. La proporción de agua que se infiltra y la que circula en superficie (escorrentía) depende de la permeabilidad del sustrato, de la pendiente y de la cobertura vegetal. Parte del agua infiltrada vuelve a la atmósfera por evaporación o, más aún, por la transpiración de las plantas, que la extraen con raíces más o menos extensas y profundas. Otra parte se incorpora a los acuíferos, niveles que contienen agua estancada o circulante. Parte del agua subterránea alcanza

la superficie allí donde los acuíferos, por las circunstancias topográficas, intersecan (es decir, cortan) la superficie del terreno.

#### **7.3.1.4.Escorrentía.**

Este término se refiere a los diversos medios por los que el agua líquida se desliza cuesta abajo por la superficie del terreno. En los climas no excepcionalmente secos, incluidos la mayoría de los llamados desérticos, la escorrentía es el principal agente geológico de erosión y de transporte de sedimentos.

#### **7.3.1.5.Circulación subterránea.**

Se produce a favor de la gravedad, como la escorrentía superficial, de la que se puede considerar una versión. Se presenta en dos modalidades:

- ✓ **Primero**, la que se da en la zona vadosa, especialmente en rocas karstificadas, como son a menudo las calizas, y es una circulación siempre pendiente abajo.
- ✓ **Segundo**, la que ocurre en los acuíferos en forma de agua intersticial que llena los poros de una roca permeable, de la cual puede incluso remontar por fenómenos en los que intervienen la presión y la capilaridad.

#### **7.4. Zonas de Recarga Hídrica.**

En términos generales se denomina recarga al proceso por el cual se incorpora a un acuífero, agua procedente del exterior del contorno que lo limita. Son varias las procedencias de esa recarga, desde la infiltración de la lluvia (la más importante en general) y de las aguas superficiales (importantes en climas poco lluviosos), hasta la transferencia de agua desde otro acuífero, si los mismos son externos al acuífero o sistemas de acuíferos en consideración. (Custodio, 1998).

La recarga natural tiene el límite de la capacidad de almacenamiento del acuífero, de forma que en un momento determinado, el agua que llega al acuífero ya no puede ser almacenada y pasa a otra área, superficie terrestre, río, lago, mar o incluso a otro acuífero. La capacidad de almacenamiento de un acuífero depende del espesor y profundidad, esto se refiere a la “geometría de los acuíferos solos, en conjunto o interconectados”. (Faustino, 2006).

La cantidad de recarga de un acuífero depende en cierto modo de la extensión del área de entrada o de captación. De hecho, los acuíferos más productivos son los lechos permeables situados en

áreas extensas. También la infiltración es mayor cuando en la zona de recarga o entrada se da, además de la precipitación local, el escurrimiento superficial de alguna área tributaria. Esto sucede principalmente en pendientes aluviales que reciben aguas superficiales provenientes de áreas montañosas con fuerte precipitación. (INAB, 2003).

#### **7.4.1. Clasificación de las zonas de recarga hídrica**

Según (Matus, 2007) indica que de acuerdo con el movimiento del agua en el suelo, subsuelo y manto rocoso, las zonas de recarga hídrica se pueden clasificar en:

**7.4.1.1. Zonas de recarga hídrica superficial:** prácticamente es toda la cuenca hidrográfica, excluyendo las zonas totalmente impermeables, esta es la que se humedece después de cada lluvia, originando escorrentía superficial, según las condiciones de drenaje (relieve del suelo y su saturación). La medición de este caudal se realiza en el cauce principal del río y se conoce como descarga superficial o caudal de escorrentía superficial.

**7.4.1.2. Zonas de recarga hídrica subsuperficial:** es la que corresponde a las zonas de la cuenca con suelos con capacidad de retención de agua o almacenamiento superficial sobre una capa impermeable, que permite que el flujo horizontal en el subsuelo se concentre aguas abajo en el sistema de drenaje. Es la ocurrencia de caudales en la red hídrica, aun cuando las lluvias hayan finalizado, también dependen de la cantidad de precipitación y el efecto “esponja” del suelo (libera lentamente el agua en su movimiento horizontal). Este caudal se mide igual que en el caso anterior y puede ocurrir después de las lluvias y en épocas secas, cuando el agua proveniente es de bosques. En esta clasificación, cuando se determina la infiltración en el movimiento del agua en el suelo o subsuelo, el flujo horizontal corresponde a esta zona de recarga y el flujo vertical corresponde a la escorrentía subterránea.

**7.4.1.3. Zonas de recarga hídrica subterránea:** es la que corresponde a las zonas de la cuenca (sitios planos o cóncavos, y rocas permeables) en el cual el flujo vertical de la infiltración es significativa; esta es la que forma o alimenta los acuíferos. Un aspecto importante en esta zonificación es la conexión entre acuíferos y la recarga externa (que viene de otra cuenca).

### **7.5. BsBnO4 Bosque siempreverde montano bajo de Cordillera Occidental de los Andes.**

Bosques siempreverdes multiestratificados que crecen sobre la Cordillera Occidental de los Andes Ecuatorianos. El dosel es generalmente cerrado, alcanza de 20 a 30 m de altura, los árboles emergentes suelen superar los 35 m, poblaciones de palmas son comunes y es posible encontrar helechos arborescentes; la vegetación herbácea es densa dominada por helechos y aráceas; la vegetación arbustiva es escasa con dominio de Rubiaceae y Melastomataceae. (Josse, 2003).

De 1500 a 2000 msnm la riqueza de especies trepadoras, leñosas y árboles disminuye mientras que el número de epifitas aumenta. La mayoría de especies de varias familias características de tierras bajas desaparecen (e.g. Bombacaceae s.s.). Familias representativas en este ecosistema son: Lauraceae, Rubiaceae, Moraceae, Urticaceae, Melastomataceae, Meliaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Malvaceae s.l. y Arecaceae. Entre los géneros arbóreos, en el dosel se encuentran: Ficus, Ocotea, Nectandra, Persea, Guarea, Carapa, Inga; en el subdosel: Cecropia, Miconia, Palicourea, Psychotria y Elaeagia. En palmas, se puede observar: Socratea exorrhiza, Ceroxylon echinulatum, Prestoea acuminata y Geonoma sp. (Valencia, 2003)

**Referencias geográficas:** Imbabura: Bosque Protector Los Cedros; Pichincha: Chiriboga, La Esperanza, Maquipucuna, Sarapullo, Las Tolas; Santo Domingo de los Tsáchilas: parte baja de la Estación Científica Río Guajalito.

### **7.6. Conservación de los recursos hídricos.**

En casos determinados, deberán identificarse las cuencas y zonas de cuencas que requieren manejarse con una o más categorías de conservación y zonificación de áreas a cargo de las municipalidades, conforme las potestades otorgadas por la Constitución, con la debida coordinación con el INEFÁN. En lo relativo a prácticas agrícolas como cultivo en pendientes y sobrepastoreo conducentes a la erosión y otros problemas, tendrán que aplicarse alguna o varias medidas disponibles como establecimiento de bosque y vegetación protectores o la implantación de alguna de las categorías de zonificación y conservación de áreas, contempladas en la ordenanza respectiva o la Ley Forestal, sin perjuicio de la aplicación de las sanciones contempladas en la Ley de Desarrollo Agrario. (INEFAN, 2005)

Existen aspectos del manejo regional que deben ser descentralizados, para lo cual existen las opciones de delegarlos a las corporaciones regionales de desarrollo, que deberán modificarse para

abarcando el ámbito de las cuencas hidrográficas; o la creación de comités de manejo de cuencas. Las tareas a desempeñar serían de formulación de políticas de la cuenca correspondiente, planificación y supervisión general. Para la operación en el nivel local se corresponde establecer cuerpos de operación de cuencas a cargo del mantenimiento de canales, operación de instalaciones y suministro de adjudicaciones globales a favor de entidades locales. (INEFAN, 2005).

## **8. PREGUNTA CIENTIFICA**

¿Dónde están ubicadas las principales áreas de recarga hídrica de la zona de estudio, que extensión ocupan y cuál es el estado de conservación?

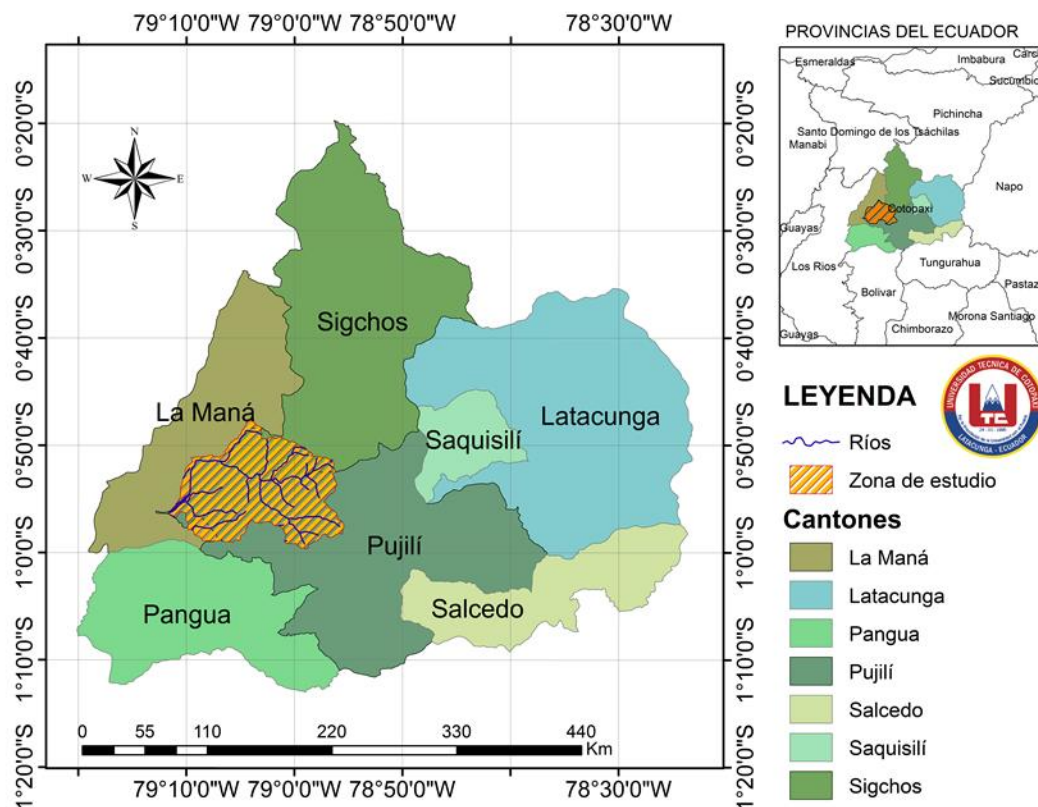
## 9. METODOLOGÍA.

### 9.3. Delimitación y caracterización del área de estudio

#### 9.3.1. Ubicación geográfica y división política administrativa

La CrSP nace de la unión de dos ríos menores (Río Pilaló y Río Lomapi), ubicado en la zona centro – oeste de la provincia de Cotopaxi, entre las coordenadas  $00^{\circ}20'10''$ -  $01^{\circ}12'22''$  S y  $79^{\circ}21'30''$ -  $78^{\circ}23'55''$  W. Tiene una superficie aproximada de  $400,705 \text{ km}^2$  y su altitud varía desde los 220 y los 4084 m.s.n.m. La precipitación media anual es de 2500 mm, en promedio la temperatura mínima desciende hasta  $6^{\circ}\text{C}$ .

Ilustración 1: Ubicación de la CrSP en la Provincia de Cotopaxi.



Fuente: SNI, 2018 – Villacis P., 2018

### 9.3.2. Características morfométricas

#### 9.3.2.1. Parámetro de coeficiente de Gravelius

Es la relación que existe entre el perímetro de la cuenca y la longitud de la circunferencia de un círculo equivalente al área de la cuenca del río San Pablo. ( Ver ANEXO ) Se define por la ecuación:

$$Kc = 0.282 * \frac{P}{A^{1/2}}$$

Dónde:

- (Kc): coeficiente de compacidad, adimensional.
- P: perímetro de la unidad hidrográfica, en Km.
- A: área de la unidad hidrográfica, en Km<sup>2</sup>.

#### 9.3.2.2. Factor de forma de Sheng

Es la relación que existe entre el ancho medio de la CrSP, y la longitud de su cauce principal. La longitud hace referencia a la distancia existente entre la cabecera y desembocadura del curso más largo de agua, siguiendo el valle que para ello se utilizó la fórmula de Factor forma (Sheng). ( Ver ANEXO )

$$kf = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

- A: área de la unidad hidrográfica, en Km<sup>2</sup>.
- L: la longitud del cauce principal, en Km.

Intenta medir cuan cuadrada (alargada) puede ser la cuenca. Una cuenca con un factor de forma bajo, esta menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma.

Principalmente, los factores geológicos son los encargados de moldear la fisiografía de una región y la forma que tienen las cuencas hidrográficas. Un valor de Kf superior a la unidad proporciona el grado de achatamiento de ella o de un río principal corto y por consecuencia con



tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas.

### **9.3.2.3.Erosión**

Conjunto de fenómenos exógenos que contribuyen al desgaste del modelado terrestre. En un sentido más amplio corresponde a los procesos de ablación, alteración y acumulación. En la práctica, se limita, casi exclusivamente, a los procesos de arrastre de material y a la alteración (erosión química). Mediante determinados “shapes” descargados del Sistema Nacional de Información, conjuntamente el ArcGis 10.2 es posible representar las zonas erosionadas y propensas a erosionarse.

## **9.3.3. Características hidrológicas**

### **9.3.3.1.Red y densidad de drenaje**

Es la relación que existe entre la longitud total de los cauces al interior de una cuenca y el área total de la misma. Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca con su área total. Una buena indicación del grado de desarrollo de un sistema de drenaje está dado por el índice llamado densidad de drenaje aplicamos la siguiente formula. (Ver ANEXO ).

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

Donde:

- Lt: longitud total de las corrientes de agua, en Km.
- A: área total de la entidad hidrográfica, en Km<sup>2</sup>.

La Dd generalmente oscila entre 0.5 Km/Km<sup>2</sup> para entidades hidrográficas con un drenaje pobre, hasta 3.5 Km/Km<sup>2</sup> para unidades hidrográficas muy bien drenadas (MONSALVE, 1999).

### **9.3.3.2.Sinuosidad de las corrientes de agua**

Es la relación que existe entre la longitud del río principal medida a lo largo de su cauce (L), y la longitud del valle del río principal medida en línea curva o recta (Lt). (Ver ANEXO ) para ello es necesario dar uso a la siguiente formula:

$$S = \frac{L}{Lt}$$

Donde:

- L: la longitud del cauce principal, en Km.
- Lt: longitud total de las corrientes de agua, en Km.

### **9.3.4. Características biofísicas generales**

#### **9.3.4.1. Clima**

Se colectó información de informes emitidos por el INAMHI y shape de Isoyetas e Isotermas del Ecuador descargados de la página de sistema nacional de información; evaluación de la gestión territorial de la CrSP.

#### **9.3.4.2. Fisiografía: pendiente**

La información se obtuvo DEM (Modelo de Elevación Digital) del Ecuador descargados de la página de sistema nacional de información, datos con los que se elaboró el mapa de pendientes con la ayuda de la herramienta “slope” perteneciente al software ArcGis 10.2.

#### **9.3.4.3. Geología, geomorfología y fallas**

Para este punto, se adquirió información de shapfiles de hidrogeología del Ecuador; la CrSP: diagnóstico y propuesta de manejo integral. Políticas de desarrollo agropecuario. Asimismo se empleó información provista del sistema de información nacional (SNI) para elaborar los respectivos mapas.

#### **9.3.4.4. Suelo**

Es un recurso natural importante para la productividad, y por medio del uso adecuado del mismo, se logra un equilibrio sustentable entre la producción de alimentos y el incremento poblacional acelerado. El suelo al igual que el aire y el agua, es esencial para la vida ya que es el hábitat en el que se desarrollan las plantas y animales, cuando es manejado de manera prudente se lo considera como recurso renovable (Barbosa et al, 2010).

#### **9.3.4.5. Uso actual del suelo (cobertura vegetal y capacidad de uso de la tierra)**

Con respecto al uso y cobertura vegetal, en base a “shapes” descargados de Sistema Nacional de Información y a la utilización del programa ArcGis 10.2 se determinó la respectiva cobertura vegetal y uso del suelo.

#### **9.3.4.6. Principales amenazas naturales**

Las amenazas naturales, como los sismos, las erupciones volcánicas, etc. pueden provocar serios daños a la salud, pero estos efectos son variables y dependen de varios factores (OMS, 2018).

#### **9.3.4.7. Áreas protegidas y PSA**

Las áreas protegidas, en base a “shapefiles” descargados de Sistema Nacional de Información y a la utilización del programa ArcGis 10.2 se determinó las respectivas áreas protegidas, en este caso, bosques protegidos.

### **9.4. CLASIFICAR LAS PRINCIPALES ZONAS DE RECARGA HÍDRICA.**

#### **9.4.1. Zonificación Territorial del área de recarga hídrica (ARH)**

##### **9.4.1.1. Método de la Recarga de Agua Subterránea (RAS).**

La metodología aplicada en el presente estudio fue propuesta por el ingeniero hidrogeólogo Martín Junker en el 2005 para la con la finalidad de determinar el agua subterránea en la micro región del Salvador en el proyecto de fortalecimiento de la gestión ambiental del Salvador (FORGAES) por el ministerio del ambiente y recursos naturales en esta microrregión («Untitled Document», s. f.). El método sirve como una herramienta para toma decisiones en la protección y el manejo sostenible del recurso hídrico, en el ordenamiento territorial, así como también para dar prioridad y protección a aquellas zonas de recarga que se han visto amenazadas por los impactos ambientales antropogénicos y naturales (Saquichagua, s. f.).

Por medio de esta metodología se logra el diseño de mapas de recarga de agua subterránea, empleando una base de datos y capas de información geográfica de mapas elementales con los que por medio de cálculos se logra determinar los acuíferos, con valores cuantitativos, en mm/año (Oudin, 2005)

Los datos para aplicar la fórmula del RAS se los obtendrán por los pasos que se describen a continuación:

#### **9.4.1.2.Delimitación del área.**

Primero se elaboró el mapa de distribución de precipitación de la CrSP a través de un mapa de isoyetas con datos de precipitaciones promedio, con la finalidad de observar las zonas con mayor precipitación y delimitarlas, posteriormente se procedió a realizar los cálculos para cada una de las zonas identificadas.

#### **9.4.1.3.Balance Climático (BC)**

Proporciona la disponibilidad hídrica geográficamente y da información por áreas del régimen de agua disponible

$$BC = (\text{precipitación} - ET_{\text{real}})$$

#### **Donde:**

Se considera media del rango de precipitación por cada zona de recarga  $w_n$  (mm/año)

**EVPreal** = evapotranspiración real en (mm /año)

#### **9.4.1.4.Cálculo de la evapotranspiración real**

El segundo paso es hacer un mapa de la distribución de evapotranspiración real, ya que es el factor que más influye en la recarga hídrica. Para hallar  $ET_{\text{real}}$  se aplicara la siguiente formula:

$$ET_{\text{real}} = ETP * kg$$

#### **Dónde:**

**ETP**= evapotranspiración potencial en (mm/año), **kg**= índice de ciclo vegetativo (adimensional)

#### **9.4.1.5.Determinación de la evapotranspiración potencial Se halló La ETP**

Se diseñó el mapa de isolíneas de temperatura, para realizar los respectivos cálculos se utilizó el Excel de ETP elaborado a partir del modelo de Thornthwaite, Oudin (2005) donde considera la radiación solar como factor importante dentro de los principales parámetros de entrada en muchos estudios de simulación.

Ilustración 2: Modelo matemático de ETP de Oudin.

*Potential evapotranspiration (PE) calculation using the formulation proposed by Oudin et al. (2005)*

References:  
 Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., Anotil, F. and Loumagne, C., 2005. Which potential evapotranspiration input for a rainfall-runoff model? Part 2 - Towards a simple and efficient PE model for rainfall-runoff modelling. *Journal of Hydrology* 303(1-4), 290-306.  
 For the calculation of extra-atmospheric global radiation, see Appendix C of the article by Morton, F.I., 1983. Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology. *Journal of Hydrology* 66 (1/4), 1-76.

*Fill in yellow cells with data*

Latitude (degree)	-2,18	Annual PE (mm/y)	1256,9							
Temperature (°C)	Julian day	teta	cosGz	Gz	cosOM	OM	Eta	cosPz	Global radiation (MJ/m2/d)	PE (mm/d)
17,66696	15	#####	0,944	0,335	-0,015	1,586	1,032	0,601	438,47	3,487
18,64288	45	-0,241	0,979	0,203	-0,009	1,580	1,024	0,623	449,62	3,730
18,19595	75	#####	1,000	0,009	-0,002	1,573	1,009	0,637	450,55	3,667
16,77325	105	0,160	0,980	0,198	0,006	1,565	0,992	0,624	432,32	3,303
14,66727	135	0,325	0,935	0,363	0,013	1,558	0,977	0,596	404,39	2,791
13,74426	165	0,406	0,903	0,444	0,016	1,554	0,968	0,576	386,37	2,541
15,71466	195	0,380	0,914	0,418	0,015	1,556	0,967	0,582	390,88	2,841
16,79037	225	0,255	0,957	0,293	0,010	1,561	0,975	0,610	413,97	3,165
16,53278	255	0,064	0,995	0,102	0,002	1,568	0,989	0,633	438,36	3,312
17,72714	285	-0,144	0,994	0,106	-0,006	1,576	1,006	0,633	447,75	3,571
18,1843	315	-0,314	0,962	0,276	-0,012	1,583	1,022	0,612	441,51	3,592
18,16315	345	#####	0,934	0,365	-0,016	1,587	1,031	0,594	433,71	3,525
18,2803	15	#####	0,944	0,335	-0,015	1,586	1,032	0,601	438,47	3,582
18,3913	45	-0,241	0,979	0,203	-0,009	1,580	1,024	0,623	449,62	3,690
18,0405	75	#####	1,000	0,009	-0,002	1,573	1,009	0,637	450,55	3,642

Fuente: Oudin, L., Michel, C., Andréassian, V., Anotil, F. and Loumahne, C. 2005.

#### 9.4.1.6. Cálculo del índice kg.

El índice (kg) dependerá de la cobertura vegetal del suelo de la zona de estudio, para lo cual se elaboró un mapa de uso actual del suelo, para así asignar valores a kg en función a la siguiente tabla:

Tabla 3. Valores kg y ciclos vegetativos

No	cobertura ( uso actual)	kg
1	Asentamientos humanos	0
2	Bosque secundario	0,8
3	Café	0,6
4	Charral o matorral	0,63
5	Cuerpo de agua	0
6	Cultivos	0,8
7	Frutales	0,7
8	Manglar	0,65
9	Pasto mejorado con árboles dispersos	0,7
10	PSA	0,8

Fuente: Bosch et al.1982; Aparicio 1997; CeNAT 2005

Una vez obtenidos los resultados a través de los cálculos explicados anteriormente, se procede a calcular (BC) para calcular el RAS.

#### 9.4.2. Cálculo del RAS

Con el resultado del balance climático (BC) y el coeficiente de infiltración (C) por medio de las ecuaciones realizadas, se calcula el RAS aplicando la siguiente formula:

$$\text{RAS} = \text{BC} * \text{C}$$

**Dónde:**

BC= balance Climático en (mm/año).

C= coeficiente de infiltración (adimensional).

##### 9.4.2.1.Cálculo del coeficiente de infiltración (C).

Expresa la infiltración potencial en la zona de recarga hídrica. Se empleó el modelo analítico propuesto por Schosinsky y Losilla (Schosinsky, Losilla. 2000. («Ajut a la recerca 2004 - 2005\_2.pdf», s. f.), permite delimitar las áreas potenciales de recarga de los acuíferos según los autores el Coeficiente de Infiltración se define por la siguiente ecuación:

$$C = k_p + k_v + k_{fc}$$

##### 9.4.2.2.Índice $k_p$

Se relaciona directamente con la escorrentía de agua superficial que no llega a los acuíferos. A través de un mapa topográfico de pendiente en unidades porcentuales, se asigna a cada zona de estudio un coeficiente de pendiente según la siguiente tabla:

**Tabla 4.** Valores de  $k_p$ .

No.	Rangos de pendientes en %	$k_p$
1	0-3	0,4
2	3-15	0,15
3	15-30	0,1
4	30-50	0,07
5	50-70	0,05
6	> 70	0,01

Fuente: Junker 2005

### 9.4.2.3. Índice kv

La infiltración se relaciona con el uso actual del que a la vez depende de la evapotranspiración, por lo cual se utilizó el shape de cobertura vegetal para asignar valores a kv en función a la siguiente tabla.

**Tabla 5.** Valores kv.

No	Cobertura vegetal (uso actual)	kv
1	Asentamientos humanos (urbano)	0,1
2	bosque secundario	0,2
3	Café	0,19
4	charral o matorral	0,15
5	cuerpo de agua	0
6	Cultivos	0,15
7	Frutales	0,18
8	Manglar	0,15
9	pasto mejorado con árboles dispersos	0,2
10	PSA	0,15
11	Regeneración natural	0,2

Fuente: Junker 2005

### 9.4.2.4. Índice kfc.

Indica la permeabilidad del suelo, la recarga se puede agravarse por la presencia de rocas impermeables o suelos; al contrario, suelos recientes, no compactados y arenosos que facilitan la infiltración se encuentra también que las fallas geológicas y tectónicas que facilitan la infiltración (Saquichagua, s. f.). Se halló kfc en función a la taxonomía de suelo por la que está comprendida cada una de las zonas con diferente precipitación, se elaboró el mapa de taxonomía de suelo, el valor kfc se asigna según la siguiente tabla.

**Tabla 6.** Valores kfc.

No	Orden de suelos	Kfc
1	Alfisoles	0,15
2	Entisoles	0,15
3	Inceptisoles	0,2
4	Ultisoles	0,2

Fuente: Cubero 2007, ProDUS 2007, Junker 2005

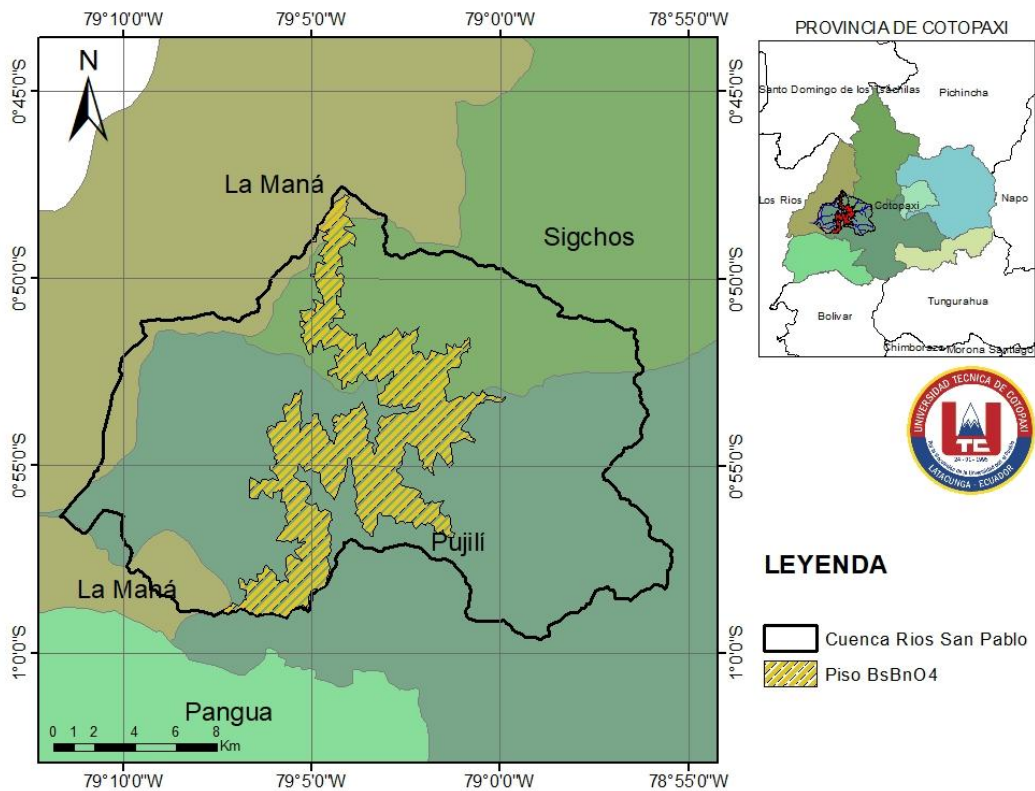
## 10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

### 10.1. Delimitar y caracterizar la cuenca hidrográfica del área de estudio.

#### 10.1.1. Ubicación geográfica y división política administrativa

La Cuenca del Río San Pablo (CrSP) en el piso climático de altitud 1400 a 2000 m.s.n.m. se ubica entre los cantones de Pujilí, Sigchos y La Maná, en el centro occidental de la Provincia de Cotopaxi. Se extienden entre los paralelos  $00^{\circ} 48' S$ ,  $00^{\circ} 59' S$  y los meridianos  $79^{\circ} 07' W$ ,  $79^{\circ} 00' W$ . Tiene una superficie aproximada de  $76,14 \text{ Km}^2$ . La precipitación media anual es de 2150 mm, con temperaturas mínima y máxima de  $12^{\circ}\text{C}$  y  $24^{\circ}\text{C}$  respectivamente. El río Pilaló recorre de este a oeste y el río Lomapi recorre de noreste a suroeste para unirse y formar el río San Pablo.

*Ilustración 3: Ubicación del piso bioclimático BsBn04 en la Provincia de Cotopaxi*



Fuente: SNI, 2018 – Villacís P., 2018



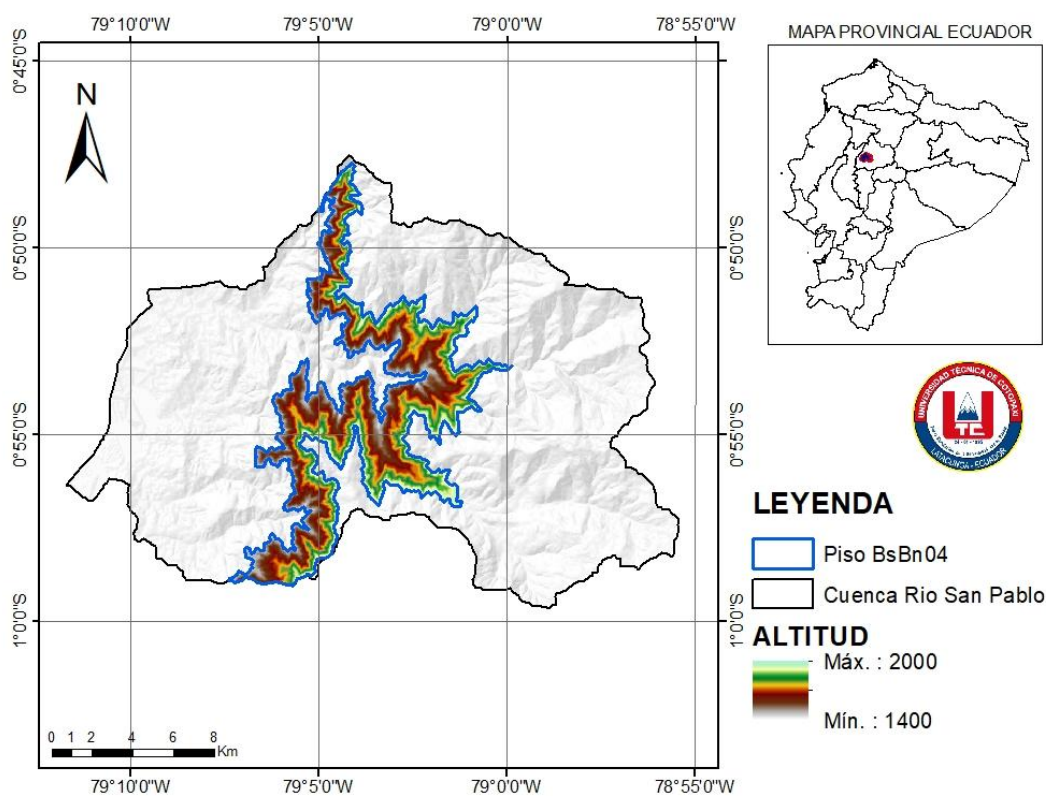
**Tabla 7:** Distribución de la superficie cantonal en la zona de estudio.

Cantones/Superficie	Superficie Cantonal	% Superficie Cantonal	Superficie del área de estudio (Km <sup>2</sup> )	% del área de estudio
LA MANÁ	662,68	20,56	1,44	1,89
SIGCHOS	1262,7	0,57	22,32	29,32
PUJILI	1297,9	0,04	52,36	68,79
TOTAL			76,12	100

FUENTE: IEE; 2012 – Villacís P., 2018

Se observa que el 68,79% del área de estudio aparece dentro de los límites del cantón Pujilí, y que apenas el 31.21% se encuentra repartido entre Sigchos y La Maná. Además se nota que los límites naturales de la cuenca en su mayoría coinciden con la delimitación política.

**Ilustración 4:** Zona de estudio del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.



Fuente: SNI, 2018 – Villacís P., 2018

Como se observa en el gráfico anterior se encuentra la delimitación del piso bioclimático BsBn04 de 1400 a 2000 msnm en la cuenca del río San Pablo.

## **10.1.2. CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS**

### **10.1.2.1. Parámetro de forma (índice o factor de forma y coeficiente de Gravelius)**

La CrSP presenta una forma irregular con un valor de 5,06, además la CrSP no es una zona propensa a inundarse, llegando a ésta conclusión mediante shapes descargados del sistema nacional de información.

### **10.1.2.2. Erosión**

No existe información disponible en formato shapefiles para el piso bioclimático BsBn04 de 1400 a 2000 msnm en la cuenca del río San Pablo, por lo que no se pudo modificar un mapa de erosiones, mediante el software ArcGis 10.2.

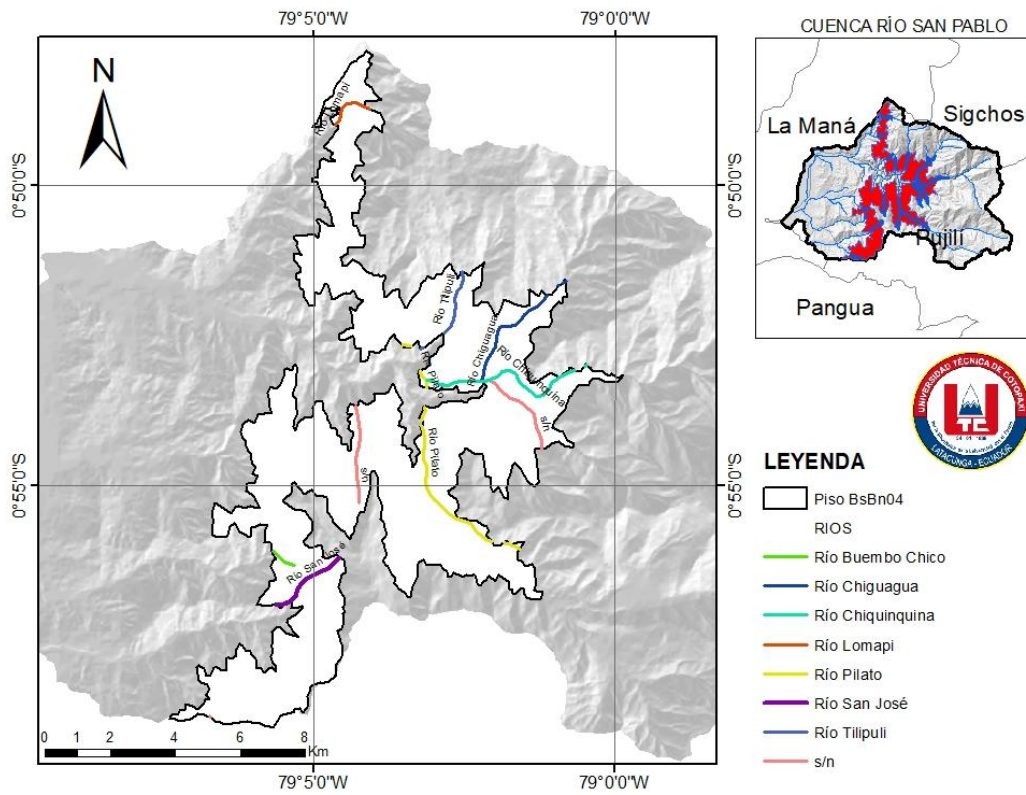
## **10.1.3. Características hidrológicas**

### **10.1.3.1. Red y densidad de drenaje**

El piso bioclimático BsBn04 al poseer pequeños tramos de ríos que pasan de un piso bioclimático (BsMn03) al otro (BsPn01) en la Cuenca del Río San Pablo podemos decir que presenta un drenaje bueno con un apenas una pequeña porción de propensa a inundación ubicada en el río Pilaló ubicado en las zona baja de la cuenca.

Presenta una sinuosidad poco apreciable, con un valor de 0.56 en el tramo del río Pilaló.

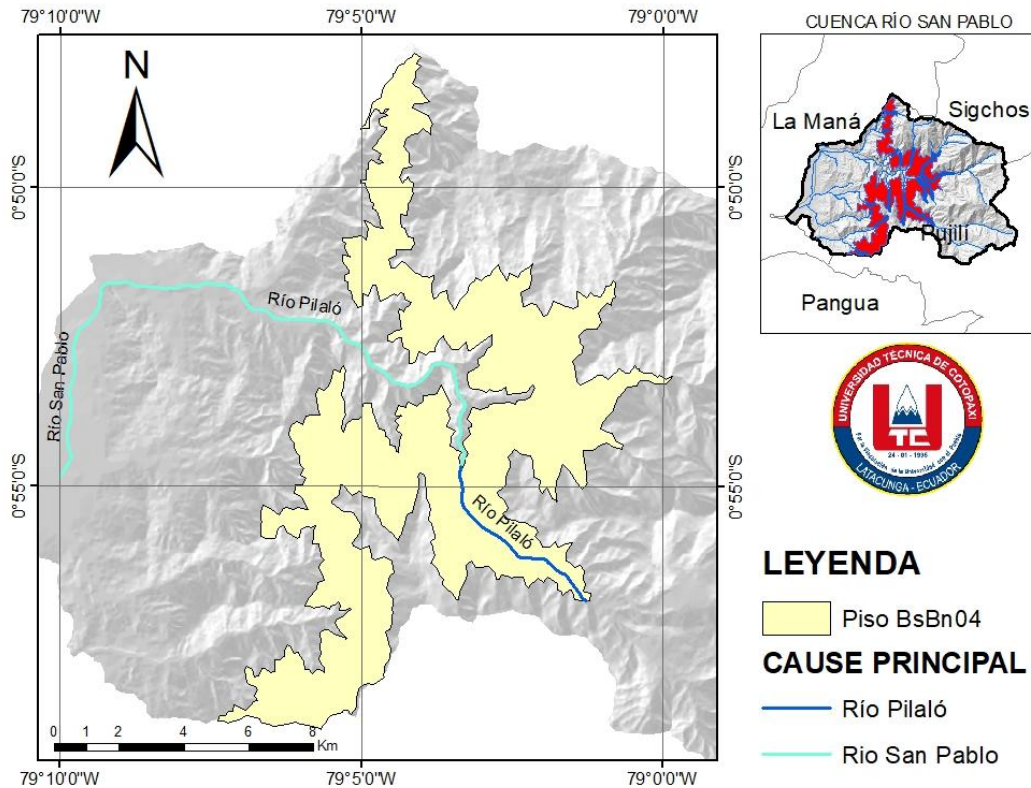
**Ilustración 5:** Red de drenaje del piso bioclimático BsBn04 la cuenca del río San Pablo.



**Fuente:** SNI, 2018 – Villacís P., 2018

### 10.1.3.2. Cauce principal

*Ilustración 6: Cauce principal del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.*



Fuente: SNI, 2018 – Villacís P., 2018

### 10.1.4. Características biofísicas generales

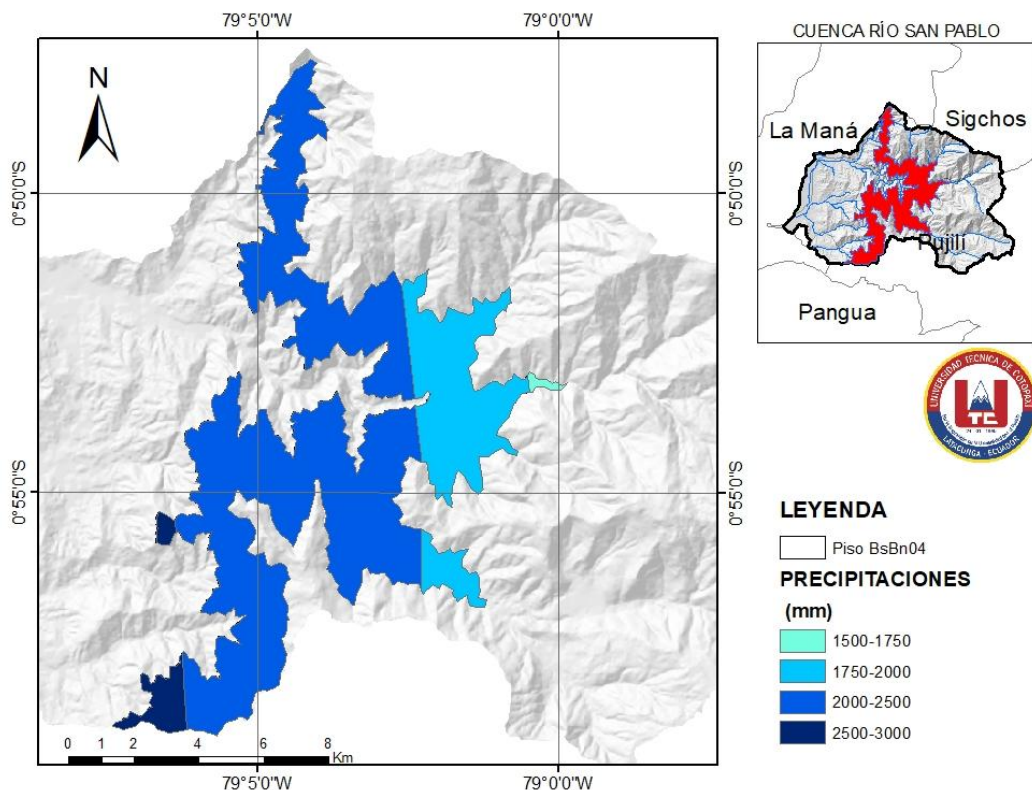
#### 10.1.4.1. Clima

El callejón interandino, donde se ubica el piso bioclimático BsBn04 de la CrSP, está a la presencia de la corriente cálida Ecuatorial, mal llamada en nuestro medio como corriente de “El Niño”, que aparece frente a nuestras costas a fines de diciembre, aproximadamente por la época de Navidad, de ahí el nombre que comúnmente se le da de “El Niño”, y que llega desde el norte, y determina el inicio de la época lluviosa para la Región Litoral, período marcado por abundantes precipitaciones y que se extiende hasta mediados de junio; y, segundo, la gran masa de aire húmedo proveniente de la Región Amazónica y que se presenta de manera uniforme a través del

año, y que tiene como picos lluviosos, aunque no muy marcados, los meses de junio, julio y agosto, cuando tenemos el período seco en la zona de estudio (WINCKELL, 1997).

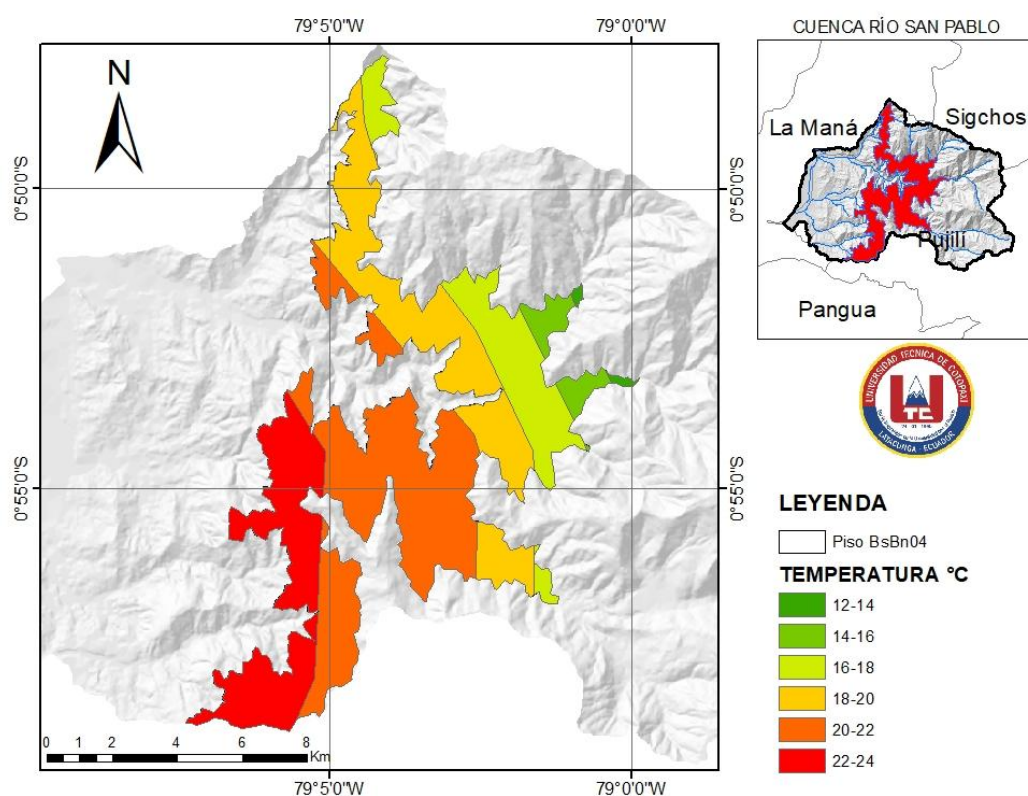
El piso bioclimático BsBn04 de la CrSP al encontrarse en las estribaciones occidentales de la cuenca se encuentran temperaturas que varían entre los 12 y 24°C según lo señalado por los shapes de isothermas descargados de la página del SNI. Adicional indica que el rango de precipitaciones se encuentra de 1500 a 3000 mm al año, lo que comprende un rango muy amplio ya que según los valores promedios de los anuarios del INAMHI de las estaciones en este paisaje. Globalmente sobre este paisaje el promedio de lluvia es de 2150 mm al año. Los meses más secos se encuentran entre julio y septiembre (CLIRSEN, 2009).

*Ilustración 7: Isoyetas del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.*



**Fuente: INAMHI, 2007 – Villacís P., 2018**

**Ilustración 8:** Isotermas del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.



Fuente: INAMHI, 2007 – Villacís P., 2018

#### 10.1.4.2. Fisiografía: pendiente.

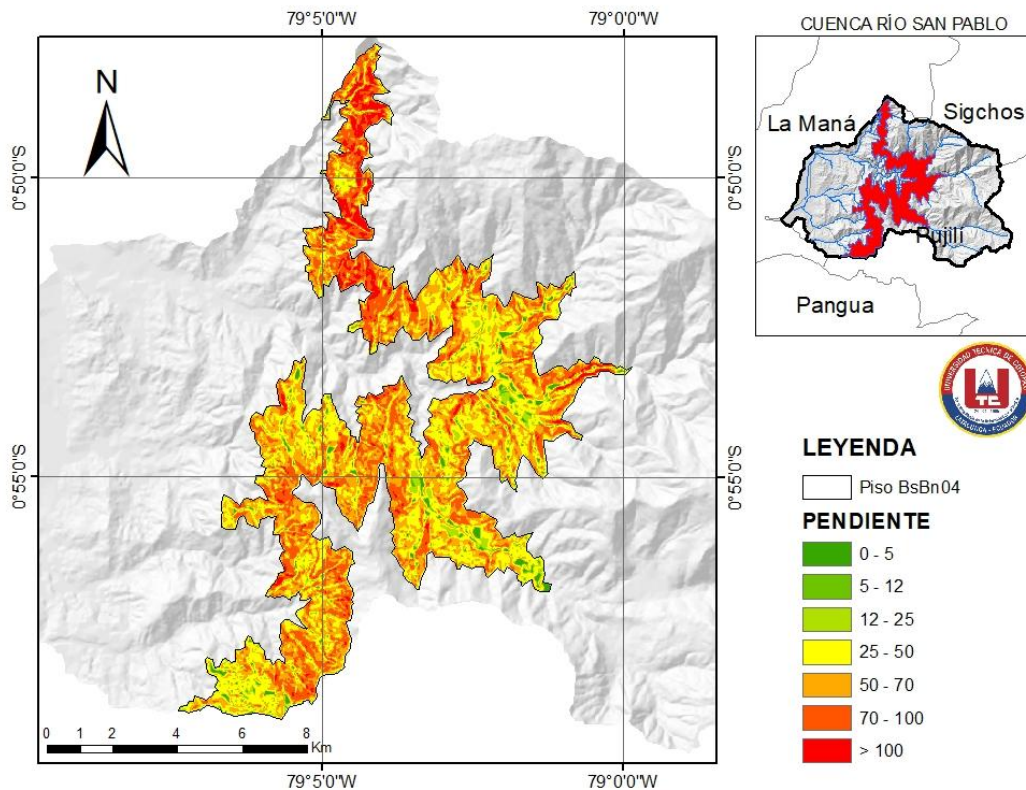
La clasificación de las pendientes se realizó en siete rangos, tomando como referencia el Anexo IV: Guía de Clasificación de los Parámetros Edáficos, del Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor, aprobado por D.S. N° 017-2009/AG, cuya distribución espacial se aprecia en el mapa respectivo, simbolizado por colores característicos. La siguiente tabla detalla los rangos de pendiente.

**Tabla 8:** Rangos de Pendiente.

RANGOS DE PENDIENTE (%)	DESCRIPCIÓN
0 – 5	De plana a muy suave
5 – 12	Suave
12 – 25	Media
25 – 50	De media a fuerte
50 – 70	Fuerte
70 – 100	Muy fuerte
> 100	Escarpada

**Fuente:** Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cotopaxi 2025

**Ilustración 9:** Pendientes del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.



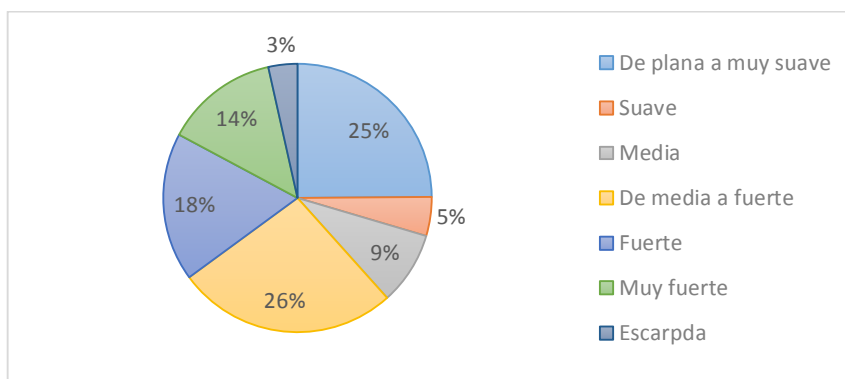
**Fuente:** SNI, 2018 – Villacís P., 2018

La representación cartográfica de los diferentes accidentes geográficos que presenta el piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo, cuyas unidades cartográficas que

representan a los rangos de pendiente, así el color verde oscuro, está simbolizada la pendiente plana de nivel nulo (0 – 5); el color amarillo simboliza la pendiente ligeramente inclinada (25 – 50); y de color rojo simboliza la pendiente extremadamente empinada (>100%).

De acuerdo al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cotopaxi 2025, existe diversos porcentajes de pendientes, siendo el tipo medio a fuerte el mayoritario.

**Ilustración 10:** Tipo de pendiente que se encuentra en la CrSP



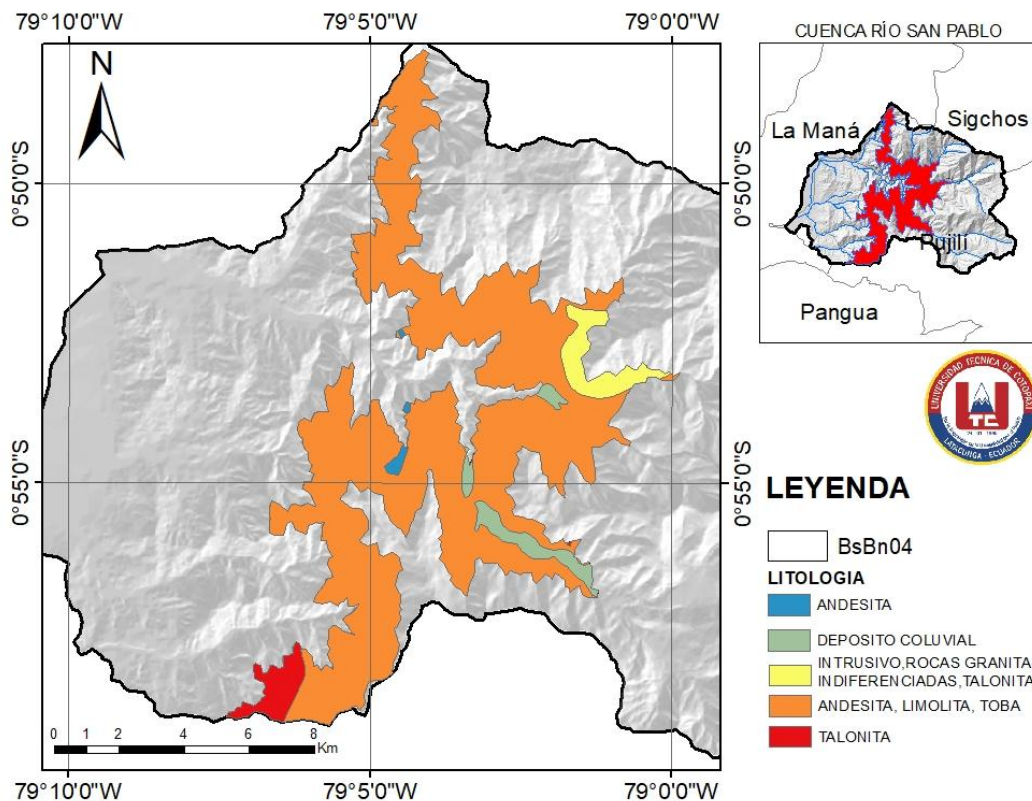
**Fuente:** Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cotopaxi 2025



### 10.1.4.3. Geología, geomorfología y fallas

Para entender la geología que se presenta en la CrSP, es necesario abarcarse en la ciencia litológica.

*Ilustración 11: Litología del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.*



Fuente: SNI, 2018 – Villacís P., 2018

La geomorfología descrita se basa mediante los paisajes encontrados al interior de la Cuenca y de acuerdo al gradiente descendente en base a la altitud.

La litología que presenta el piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo, se distingue 2 litologías generales una Andesita, Limonita y Toba, que según la geología dentro de este tramo se tiene interacciones de arenisca, arenosa y caliza, para todo esto se determinó a través de la utilización del software ArcGis 10.2.

**Tabla 9:** Información muestra del archivo de permeabilidad.

Litología	Formación	Edad	Tipo de permeabilidad
Andesita,Basalto,Lava No Diferenciada,Volcaniclastita Gruesa,Arenisca Volcánica,Limolita Volcánica	U. Macuchi	Paleoceno-Eoceno	Fisuración
Intrusivo, Rocas Granitas Indiferenciadas, Talonita	–	–	Porosidad intergranular y fisuración-rocas sin importancia hidrogeológica
Deposito Coluvial	–	Cuaternaria	Porosidad intergranular
Lava Indiferenciada,Lava De Almohadilla,Brechas,Volcaniclasticas Gruesas,Andesita,Arenisca Volcánica,Limolita Volcanica,Limolita,Toba,Brecha,Lava,Luti ta,Tobacea,Arenisca,Chert	U. Macuchi	Paleoceno-Eoceno	Fisuración
Talonita	–	–	Porosidad intergranular y fisuración-rocas sin importancia hidrogeológica

Fuente: SNI, 2018 – Villacís P., 2018

Para establecer diferentes zonas permeables a lo largo de la cuenca, es importante tener en cuenta las diferentes clases de permeabilidad que existen.

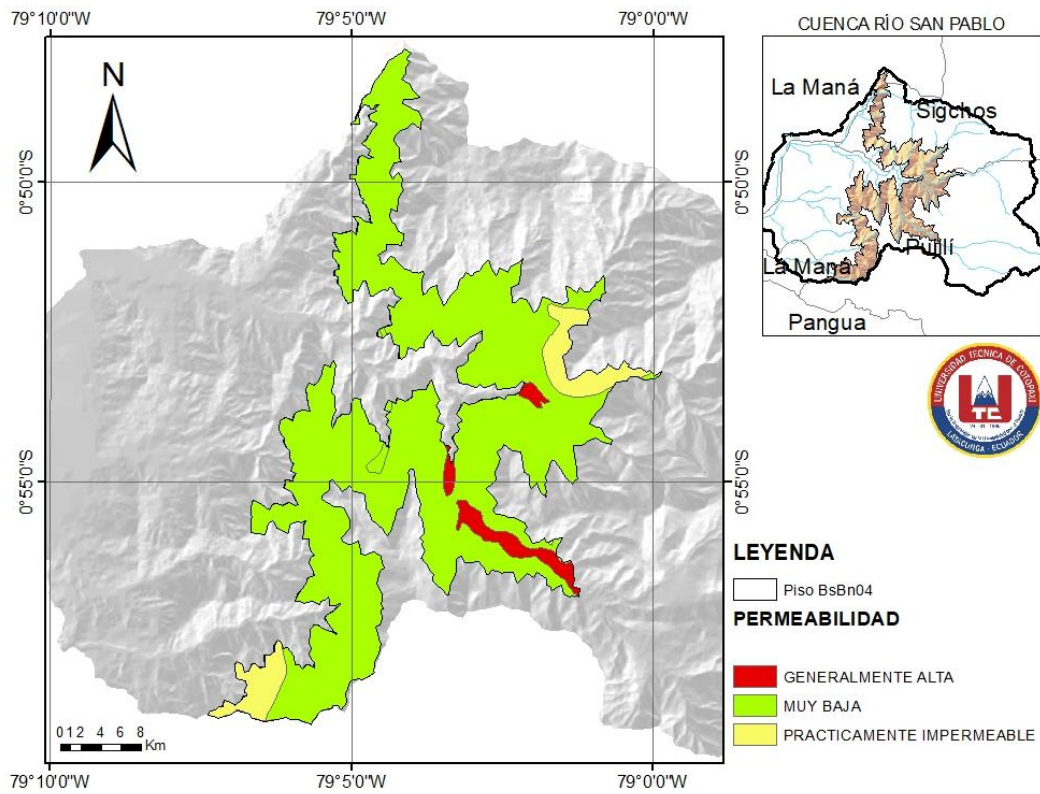
**Tabla 10:** Clases de permeabilidad.

Clase	Descripción de permeabilidad
K1	Media a alta
K2	Baja a media
K3	Muy baja
K4	Prácticamente Impermeable.

Fuete: MAG, 1976, MAGAP; 2013 – Villacís P., 2018

En la CrSP mediante “shapes” descargado del SNI (Sistema Nacional de Información, 2013), conjuntamente con la colaboración de Palacios en el 2013, se concuerda que presenta una permeabilidad de clase K3, siendo muy baja.

**Ilustración 12:** Permeabilidad del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.



Fuente: SNI, 2018 – Villacís P., 2018

### 10.1.5. Suelo

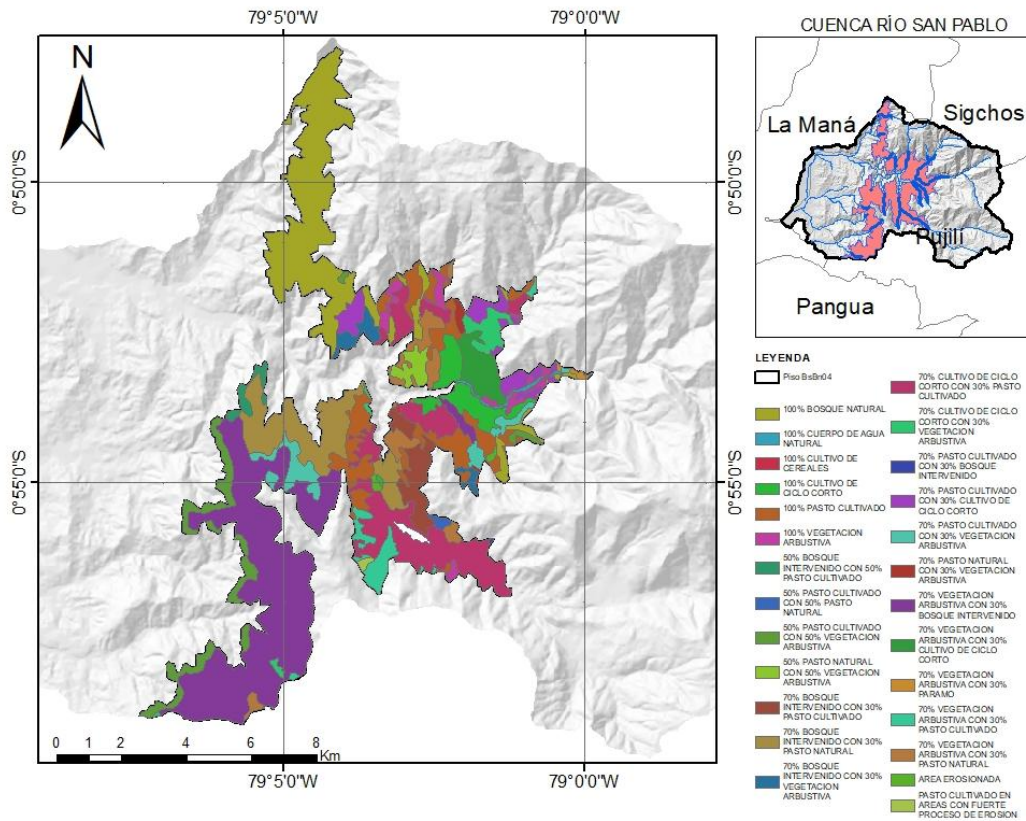
Predomina el suelo arenisco con 18,36 Km<sup>2</sup> con 70% de vegetación arbustiva y 30% bosque intervenido, y con una extensión de 12,57 Km<sup>2</sup> de 100% Bosque natural, siendo posible el cultivo de estas especies por las condiciones climáticas presentes en la zona de estudio.

**Tabla 11:** Usos de suelos del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.

Núm.	Uso de suelos	Superficie (Km2)
1	100% bosque natural	12,57
2	100% cuerpo de agua natural	0,31
3	100% cultivo de cereales	0,04
4	100% cultivo de ciclo corto	2,62
5	100% pasto cultivado	6,02
6	100% vegetación arbustiva	1,47
7	50% bosque intervenido con 50% pasto cultivado	0,60
8	50% pasto cultivado con 50% pasto natural	0,18
9	50% pasto cultivado con 50% vegetación arbustiva	3,11
10	50% pasto natural con 50% vegetación arbustiva	0,87
11	70% bosque intervenido con 30% pasto cultivado	2,14
12	70% bosque intervenido con 30% pasto natural	5,91
13	70% bosque intervenido con 30% vegetación arbustiva	1,02
14	70% cultivo de ciclo corto con 30% pasto cultivado	8,65
15	70% cultivo de ciclo corto con 30% vegetación arbustiva	1,32
16	70% pasto cultivado con 30% bosque intervenido	0,02
17	70% pasto cultivado con 30% cultivo de ciclo corto	2,21
18	70% pasto cultivado con 30% vegetación arbustiva	2,12
19	70% pasto natural con 30% vegetación arbustiva	0,28
20	70% vegetación arbustiva con 30% bosque intervenido	18,36
21	70% vegetación arbustiva con 30% cultivo de ciclo corto	1,78
22	70% vegetación arbustiva con 30% paramo	0,13
23	70% vegetación arbustiva con 30% pasto cultivado	1,55
24	70% vegetación arbustiva con 30% pasto natural	2,31
25	Área erosionada	0,20
26	Pasto cultivado en áreas con fuerte proceso de erosión	0,12

**Fuete:** MAG, 1976, MAGAP; 2013 – Villacís P., 2018

**Ilustración 13:** Usos de suelos del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.



Fuente: SNI, 2018 – Villacís P., 2018

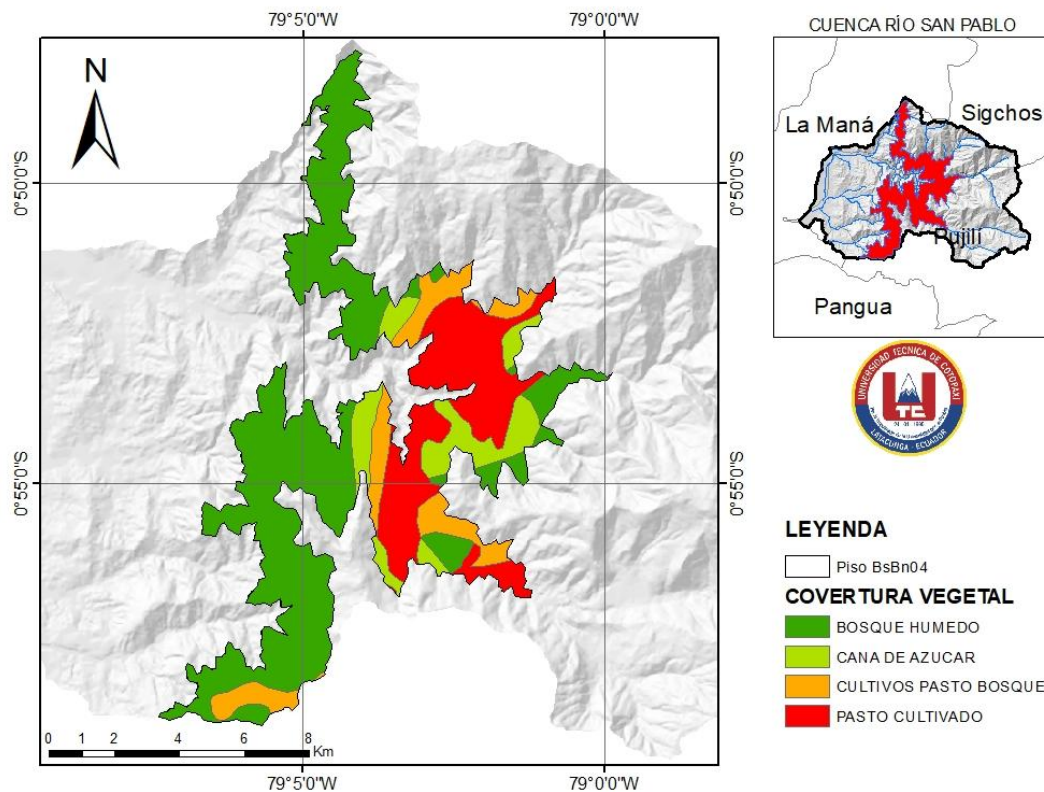
**10.1.5.1. Uso actual del suelo (cobertura vegetal y capacidad de uso de la tierra)**

El piso bioclimático BsBn04 Bosque siempre verde montano bajo de la Cordillera Occidental de los Andes, además, el bosque siempre verde montano bajo, se ubica generalmente en el sector norte y centro de la cordillera occidental, subregión norte y centro (Valencia et al., 1999) y según el decreto CES409.112 Bosques pluviales montanos bajos de los Andes del Norte (Josse et al., 2003) también son parte de la CrSP.

Este tipo de vegetación posee poblaciones de palmas son comunes y es posible encontrar helechos arborescentes; la vegetación herbácea es densa dominada por helechos y aráceas; la vegetación arbustiva es escasa con dominio de Rubiaceae y Melastomataceae.

De 1400 a 2000 msnm la riqueza de especies trepadoras, leñosas y árboles disminuye mientras que el número de epifitas aumenta (Gentry 1993; Küper et al. 2004). La mayoría de especies de varias familias características de tierras bajas desaparecen (e.g. Bombacaceae s.s.) (Valencia et al. 1999). Familias representativas en este ecosistema son: Lauraceae, Rubiaceae, Moraceae, Urticaceae, Melastomataceae, Meliaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Malvaceae s.l. y Arecaceae. Entre los géneros arbóreos, en el dosel se encuentran: Ficus, Ocotea, Nectandra, Persea, Guarea, Carapa, Inga; en el subdosel: Cecropia, Miconia, Palicourea, Psychotria y Elaeagia. En palmas, se puede observar: Socratea exorrhiza, Cerroxylon echinulatum, Prestoea acuminata y Geonoma sp. (Nieder and Barthlott 2001; MECN-SA DMQ 2010).

*Ilustración 14: Cobertura vegetal del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.*



**Fuente:** SNI, 2018 – Villacís P., 2018

En la CrSP mediante “shapes”, se concuerda que presenta una gran extensión de bosque húmedo con una extensión de 41,91 Km<sup>2</sup> con presencia de bosques húmedos y el resto de pastos cultivados con una superficie de 17,29 Km<sup>2</sup>, tomando en consideración que la temperatura y las

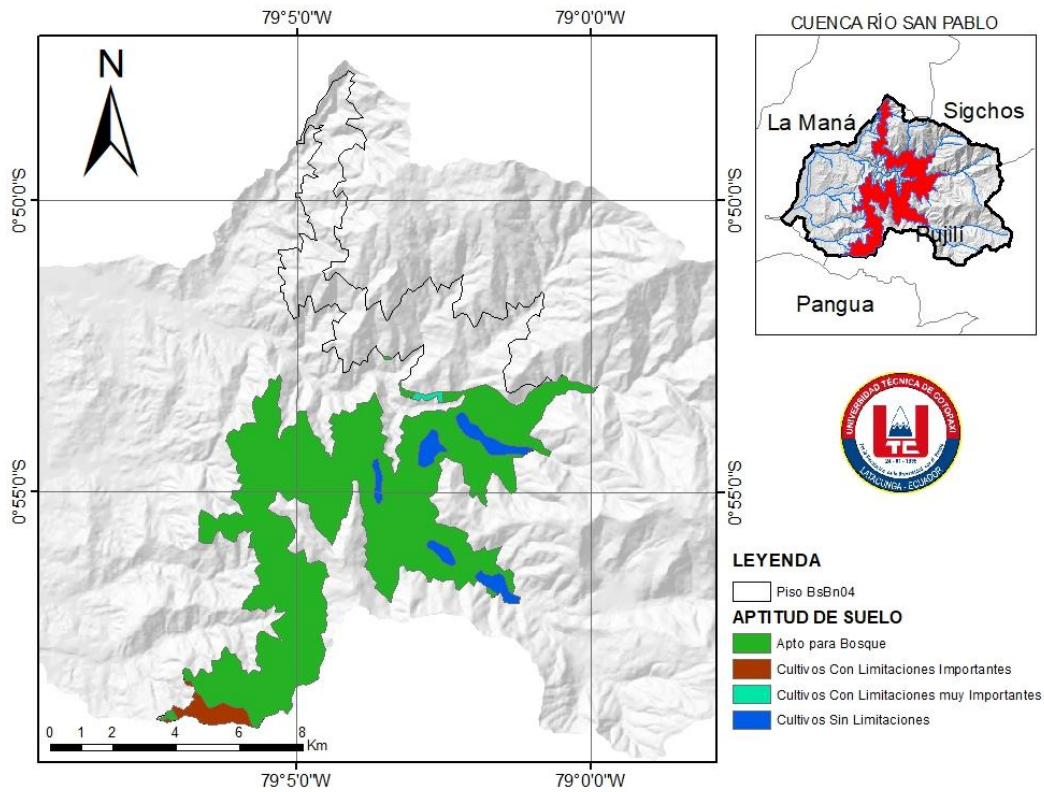
condiciones de aptitud del suelo, son propicios para el desarrollo de especies arbóreas y arbustivas a lo ancho del piso bioclimático BsBn04.

**Tabla 12:** Cobertura vegetal del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.

Cantones	Tipos de cobertura	Superficie del área de estudio	% del área de cultivos
LA MANÁ	Cultivos pasto bosque, bosque húmedo.	1,44	1,89
SIGCHOS	Cultivos pasto bosque, pasto cultivado, caña de azúcar, bosque húmedo,	22,32	29,32
PUJILI	Cultivos pasto bosque, pasto cultivado, caña de azúcar, palma africana, eriales, bosque húmedo, depósitos de agua, café, Maíz	52,36	68,79

Fuete: ArcGis, 2018 – Villacís P., 2018

**Ilustración 15:** Aptitud del suelo en el bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.



Fuente: SNI, 2018 – Villacís P., 2018

Como se puede ver en la Figura 14, la mayor parte de la CrSP se encuentra apto para bosque, siguiéndole los cultivos sin limitaciones, esto debido a que las pendientes no son pronunciadas en el piso bioclimático BsBn04.

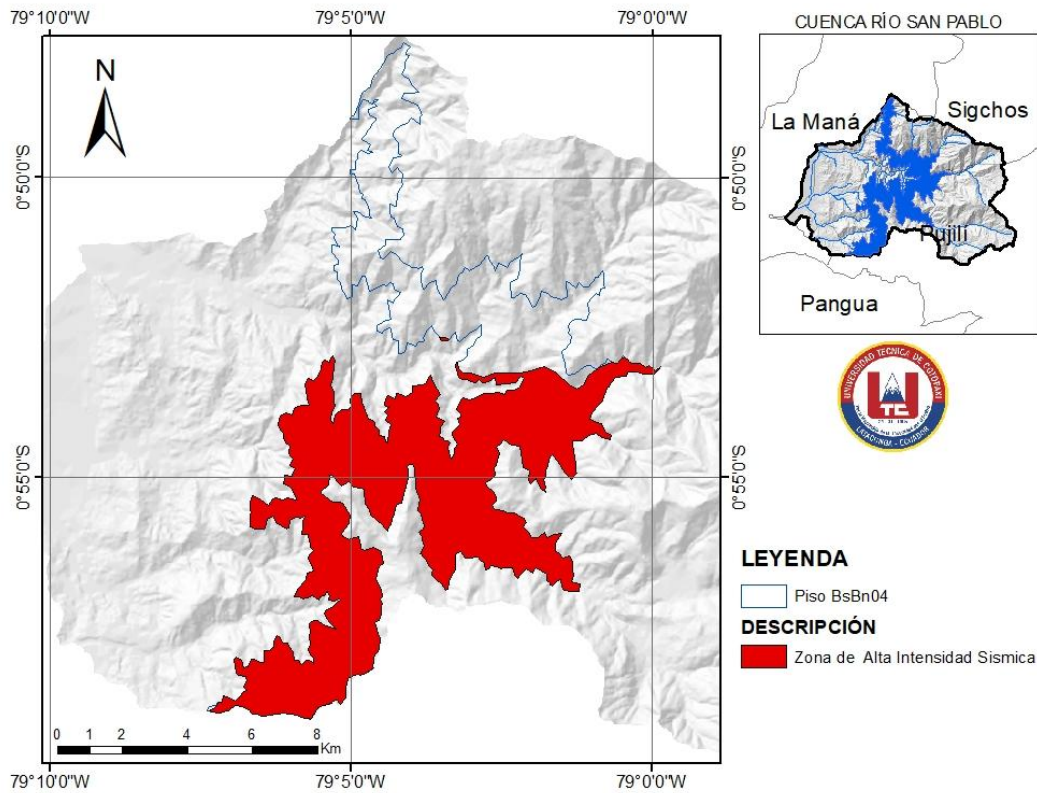
Al existir planicies y pendientes muy poco pronunciadas en la CrSP y temperaturas cálidas que en conjunto con los vientos tropicales provenientes de las zonas orientales de la Amazonía del Ecuador, dan un ambiente propicio para las especies arbustivas se desarrollen a lo largo y ancho del piso bioclimático, por ello da lugar a la gran presencia de plantas herbáceas de diversas características.

#### **10.1.6. Principales amenazas naturales**

El Quilotoa es una caldera llena de agua de 3 kilómetros de ancho que se formó por el colapso de este volcán de dacita seguido por una erupción de (Volcanic Explosivity Index VEI-6) hace aproximadamente 800 años, lo que produjo un flujo piroclástico y lahares (flujos de lodo) que alcanzaron el Océano Pacífico, lo que depositó cenizas volcánicas a través del aire a lo largo de los Andes septentrionales.



*Ilustración 16: Actividad Sísmica en el piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.*

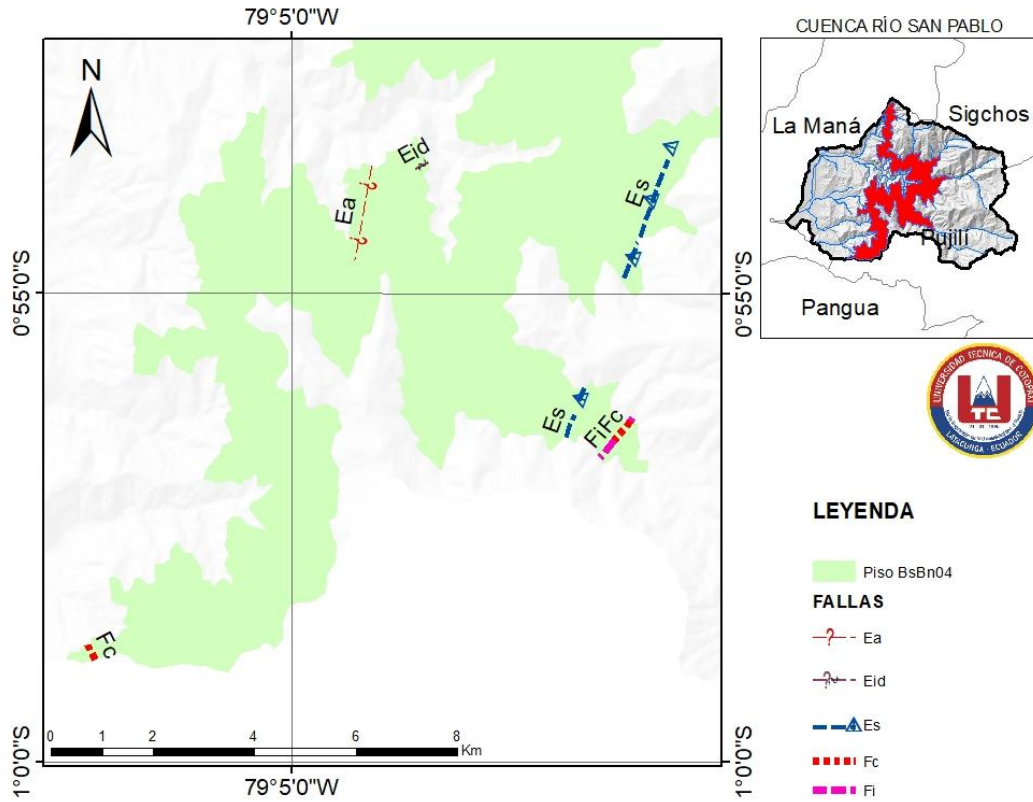


**Fuente:** SNI, 2013 – Villacís P., 2018

El territorio es muy vulnerable por la incidencia sísmica bastante superior a la media nacional (2,8%). Esta situación se agrava con la presencia de fallas sísmicas en varios sectores de la CrSP, además de la sobreexplotación de los cauces y taludes del sistema hidrológico y la permanente ampliación de la frontera agrícola (Garate, 2012).

Como vemos en el figura 16, existe una zona de alta intensidad sísmica que se extiende desde la zona central del piso bioclimático BsBn04 hasta la parte sur occidental de la misma, con una superficie de 52,36 Km<sup>2</sup> pertenecientes al cantón Pujilí de la provincia de Cotopaxi.

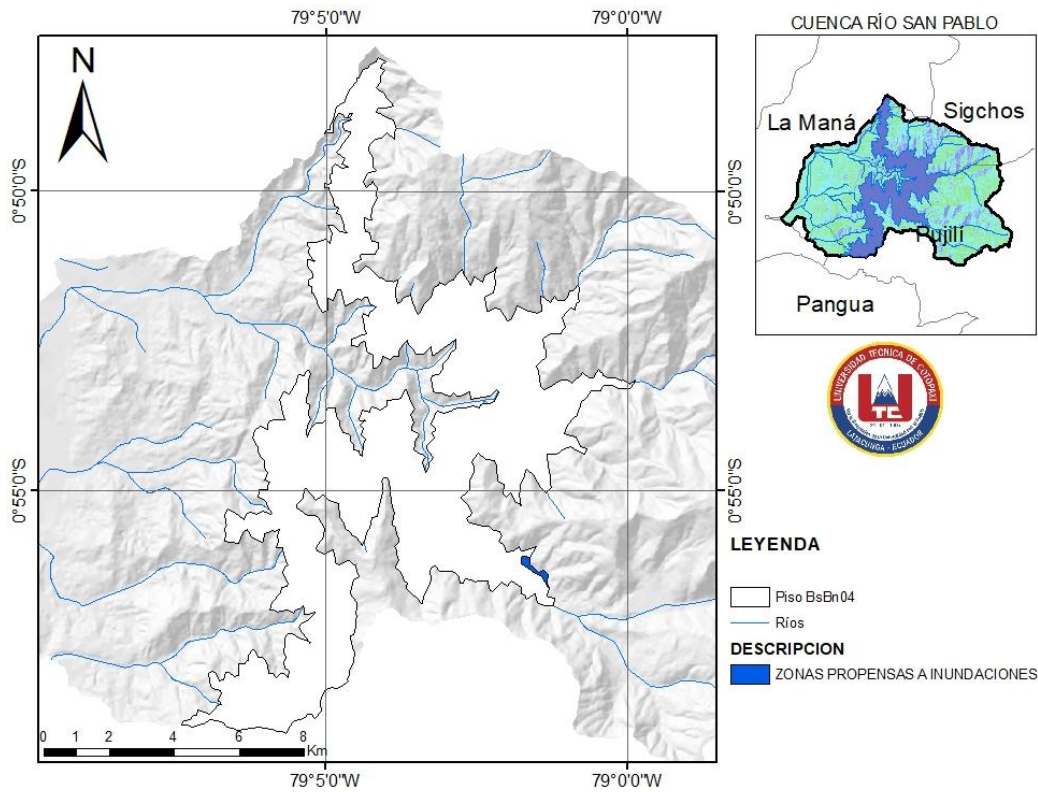
*Ilustración 17: Fallas geológicas en el piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.*



**Fuente: SNI, 2018 – Villacís P., 2018**

Las fallas se encuentran extendidas sobre el cantón Pujilí ubicadas más exactamente en la quebrada Tahualó, con una extensión de 2,72 Km, a una altura de 1400 a 2000 msnm en la zona centro sur de la CrSP. Dando como resultado 1 falla Ea, 1 falla Eid, 2 fallas Es, 2 fallas Fc y 2 fallas Fi.

*Ilustración 18: Área de inundaciones en el piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.*



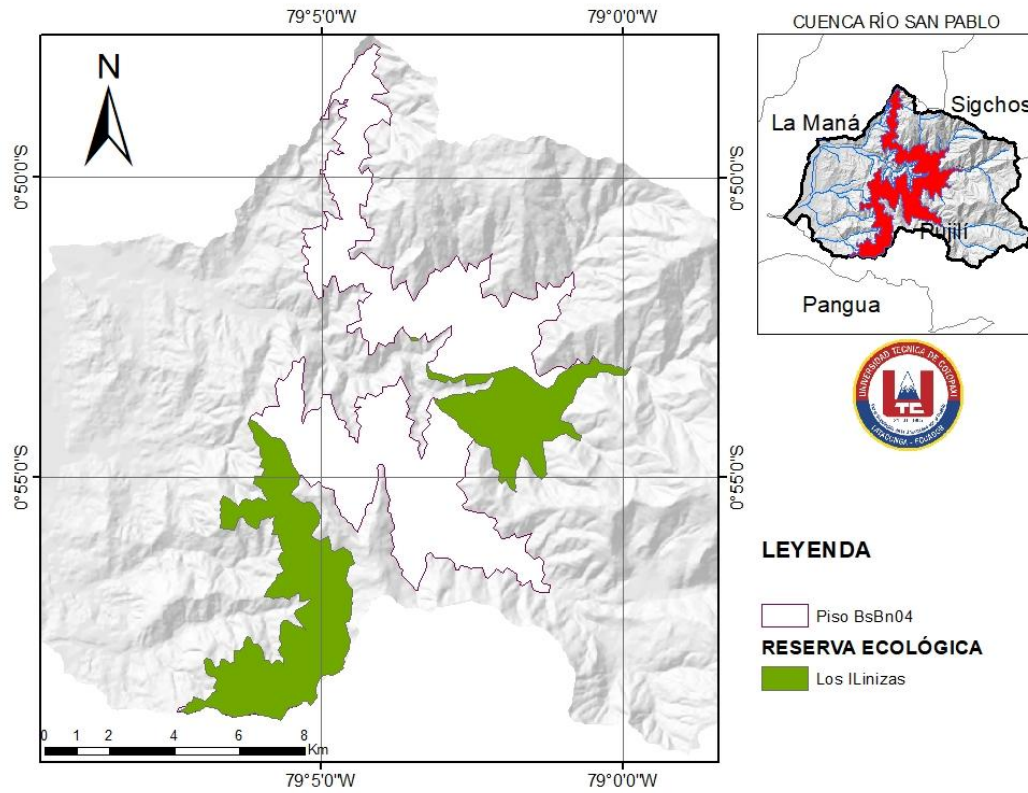
Fuente: SNI, 2018 – Villacís P., 2018

Como se observa en la figura 18, se denota una pequeña zona con tendencias a inundaciones en el cauce del río (río Pilaló) de la cuenca del río San Pablo, cuenta con una extensión de 179,141 Ha a un lado del canal del río en el cantón Pujilí, en la zona sur del piso bioclimático BsBn04.

### 10.1.7. Áreas protegidas

La reserva ecológica de los Ilinizas en el piso bioclimático BsBn04 se puede apreciar en la zona central y en la zona sur de la CrSP con una superficie de 2793,4 Ha, la misma que cuenta de un paisaje de tipo terrestre y provee de agua orientada a la irrigación agrícola al cantón de Pujilí.

*Ilustración 19: Reserva Ecológica en el piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.*



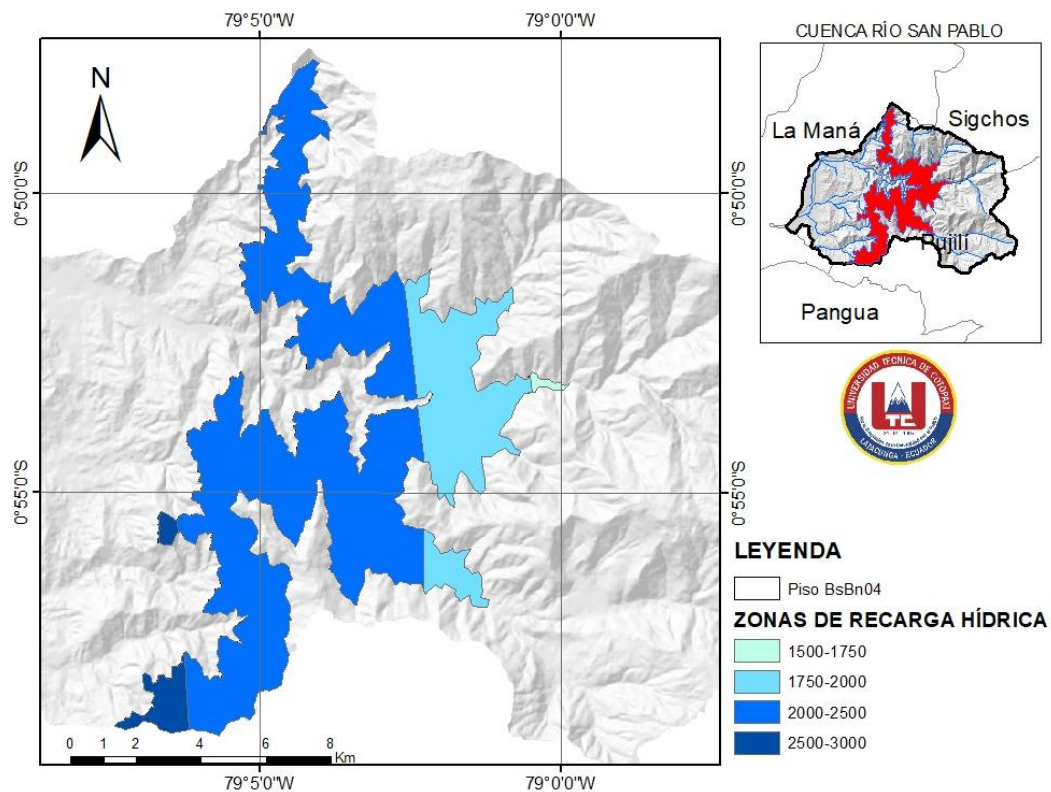
Fuente: SNI, 2018 – Villacís P., 2018

## 10.2. CLASIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES ZONAS DE RECARGA HÍDRICA.

### 10.2.1. Zonificación Territorial del área de recarga hídrica (ARH)

Las distintas áreas de recarga hídrica se obtuvieron mediante el software ArcGis 10.2, con datos de precipitación mayores a 1500 mm/año en adelante.

*Ilustración 20: Área de recarga hídrica del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.*



Fuente: SNI, 2018 – Villacís P., 2018

### 10.2.1.1. Zonificación territorial

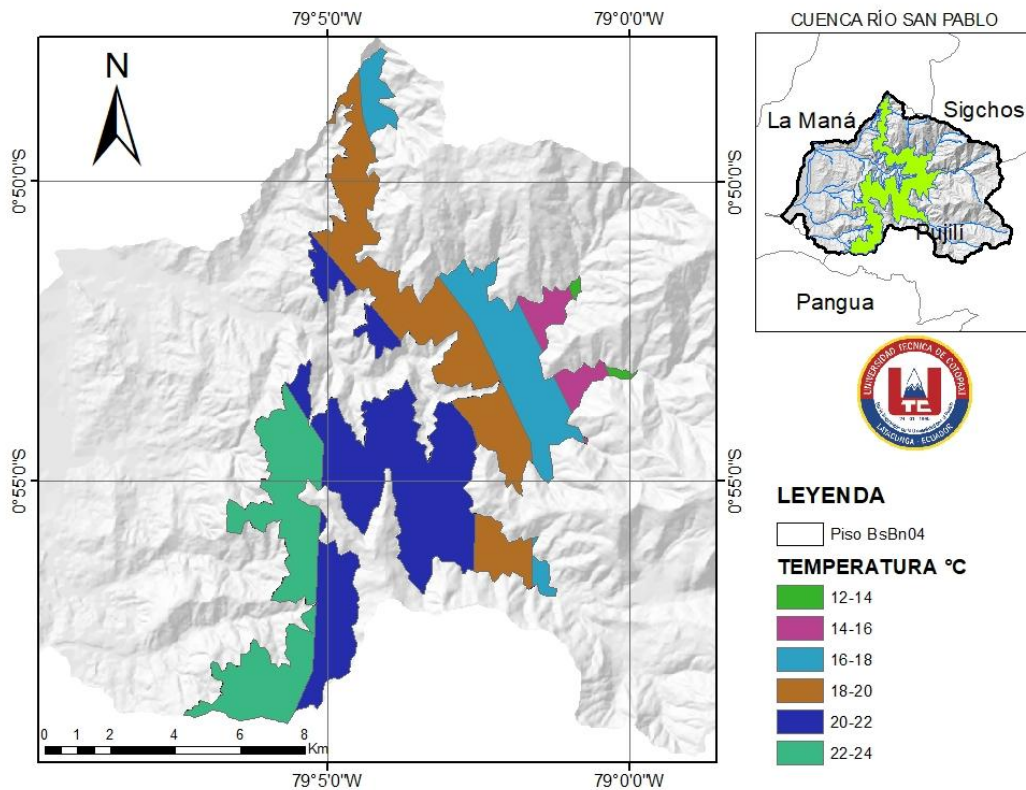
Mediante el software ArcGis 10.2, se calculó el promedio de las distintas áreas de recarga hídrica, teniendo previamente datos de precipitación y temperatura para su cálculo a posterior.

*Tabla 13: Promedios en cada zona de recarga hídrica.*

Zona	Precipitación	Promedios	Temperatura
1	1500 – 1750	1625	14
2	1750 – 2000	1875	16
3	2000 – 2500	2250	20
4	2500 – 3000	2750	23

Elaborado por: Villacís P., 2018

*Ilustración 21: Temperaturas del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.*



Fuente: SNI, 2018 – Villacís P., 2018

## 10.2.2. Método RAS de (Junker, 2005)

### 10.2.2.1. Proceso metodológico

Para proceder a determinar las distintas evapotranspiraciones potenciales, se utilizó la formulación propuesta por (Oudin, 2005), en el cual se tiene en cuenta la latitud del área de estudio conjuntamente con la temperatura.

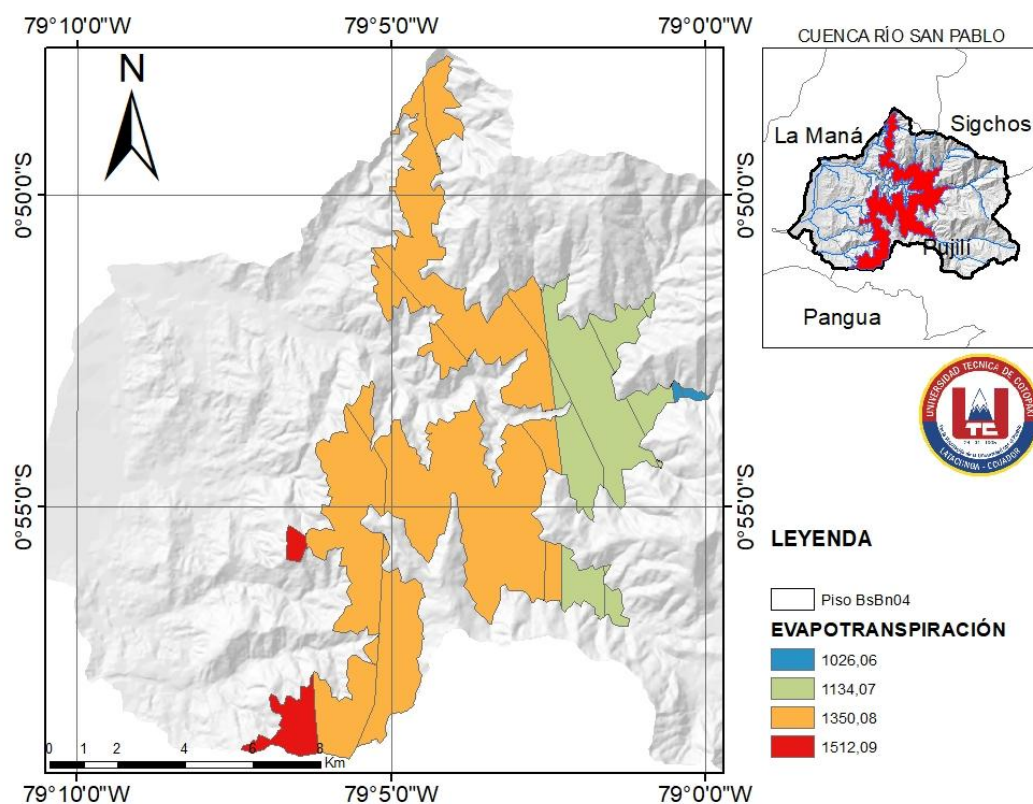
*Tabla 14: Evapotranspiración Potencial*

Zona	Precipitación	Áreas	EVPotencial
1	1625	32,46	1026
2	1875	1624,03	1134
3	2250	5674,08	1350
4	2750	283,37	1512

**Elaborado por:** Villacís P., 2018, 2018

Para la zona 1 de precipitación 1625 mm/año con un área de 32.46 ha y una temperatura promedio de 14°C, con la metodología propuesta por (Oudin, 2005) no arroja un resultado de 1026 de evapotranspiración potencial, a diferencia de la zona 4 que con una precipitación mayor de 2750 mm/año con un área de 283,37 y una temperatura de 23°C, nos arroja un resultado de 1512 de evapotranspiración potencial.

**Ilustración 22:** Evapotranspiración del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.



Fuente: SNI, 2018 – Villacís P., 2018

La Evapotranspiración real se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$ET_{real} = ETP * kg$$

Obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 15:** Evapotranspiración real.

FID	PRECIPITACIÓN	AREAS	TEMP	EVP	kg	EVPreal
1	1625	32.46	14	1026	0.8	820.85
2	1875	1624.03	16	1134	0.8	907.26
3	2250	5674.08	20	1350	0.8	1080.06
4	2750	283.37	23	1512	0.8	1209.67

Elaborado por: Villacís P., 2018, 2018



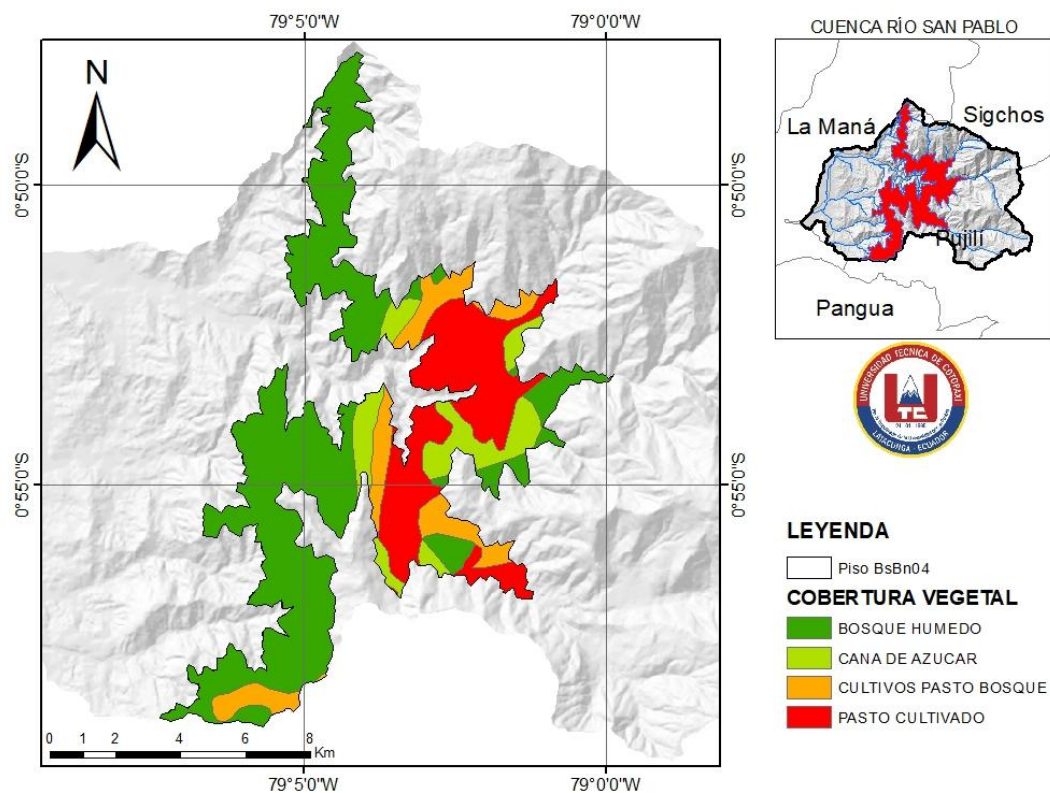
A través de la fórmula propuesta anteriormente se determinó como una baja concentración de tan solo 820.85 de evapotranspiración real en la zona 1, a diferencia de la zona 4 que posee 1209.67 de evapotranspiración real.

### 10.2.3. Coeficiente de infiltración

El coeficiente de infiltración se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

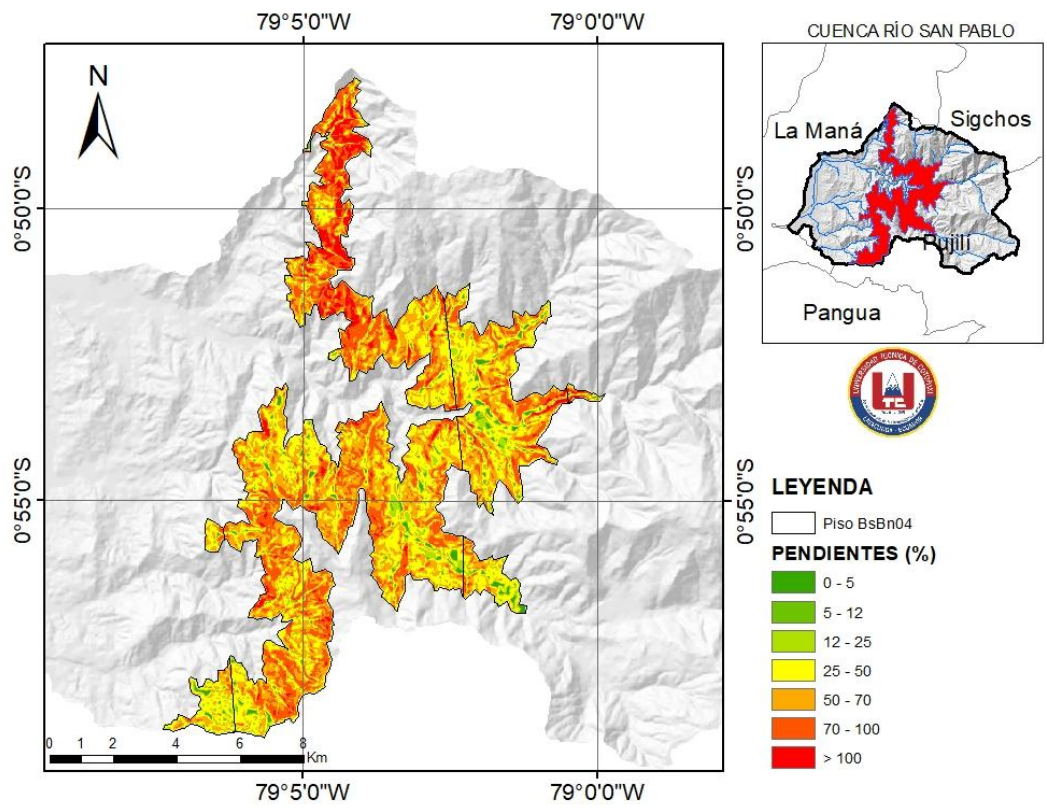
$$C = kp + kv + kfc$$

*Ilustración 23: Determinación del kv del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.*



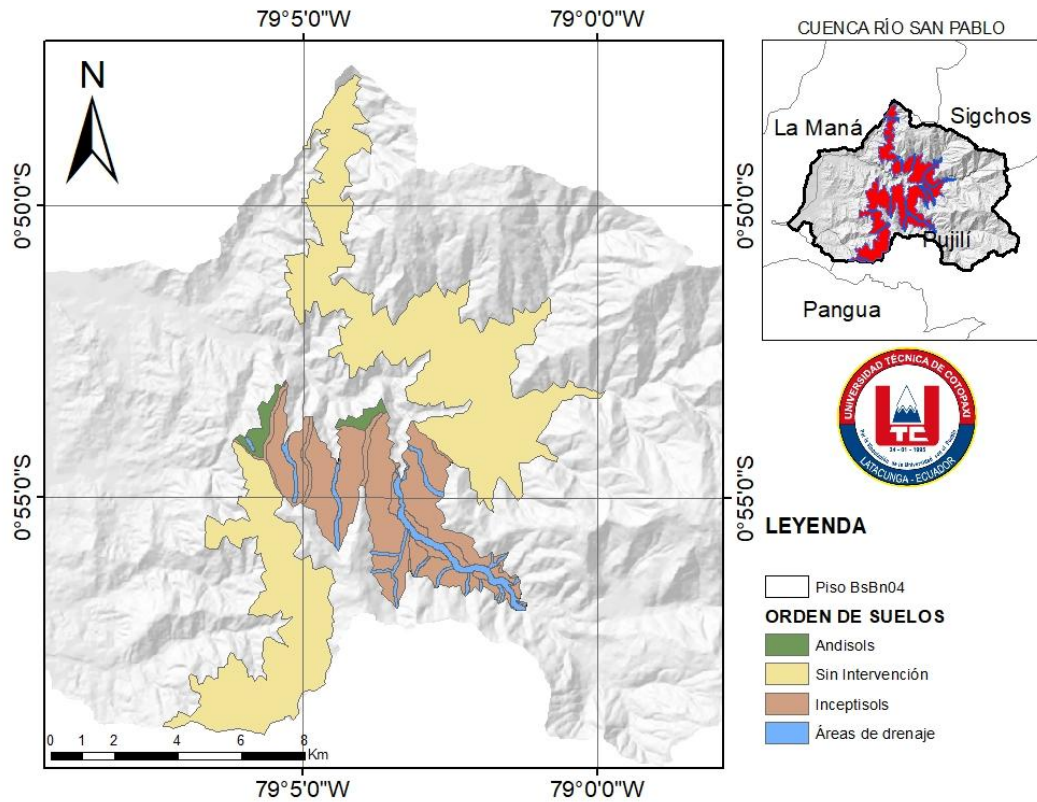
Fuente: SNI, 2018 – Villacís P., 2018

**Ilustración 24:** Determinación del kp del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.



**Fuente:** SNI, 2018 – Villacís P., 2018

**Ilustración 25:** Determinación del kfc del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.



Fuente: SNI, 2018 – Villacís P., 2018

Se determinó que coeficientes se le asignaría a cada zona de recarga hídrica con la utilización de la mediana para cada zona de recarga hídrica de acuerdo a la cobertura vegetal, pendientes y orden de suelos, (se puede utilizar ponderaciones), obteniendo lo siguiente:

**Tabla 16:** Determinación del kv, kp y kfc

FID	PRECIPITACIÓN	AREAS	TEMP	EVP	kg	Kv	Kfc	kp
1	1625	32.46	14	1026	0.8	0.2	0.20	0.05
2	1875	1624.03	16	1134	0.8	0.15	0.20	0.01
2	2250	5674.08	20	1350	0.8	0.2	0.20	0.05
4	2750	283.37	23	1512	0.8	0.2	0.20	0.07

Elaborado por: Villacís P., 2018

#### 10.2.4. RAS

A partir del cálculo del balance hídrico, conjuntamente con la sumatoria de cada coeficiente de infiltración se obtuvo mediante la ecuación:

$$RAS = BC * C$$

*Tabla 17: Cálculo del RAS*

ZONA	PRECIPI TACIÓN	AREAS (ha)	ETP	EVPreal	P- EVPreal (BC)	Infiltración (C)	RAS
1	1625	32.46	1026	820.85	599	0.45	269.52
2	1875	1624.03	1134	907.26	741	0.36	266.73
3	2250	5674.08	1350	1080.06	900	0.45	404.96
4	2750	283.37	1512	1209.67	1238	0.47	581.82

Elaborado por: Villacís P., 2018.

El piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo presenta un área total de 76,14 km<sup>2</sup> de zonas de recargas hídricas, las cuales fueron evaluadas con el método de recarga subterránea de Junker (RAS), lo que arrojó como resultado que para el área mencionada anteriormente se acumula 581,82 mm por cada año, lo cual indica que con este resultado podemos realizar un plan de manejo de reserva de agua para esta zona.

Para la primera zona de recarga hídrica con un promedio de precipitación de 1625 mm/año, se tiene una evapotranspiración de 820.85 que, con un 0.45% de infiltración vamos a tener un valor de 269.52 mm/años de acumulación de agua, que podría ser utilizada para acuíferos o como reservas de agua natural.

#### 10.2.5. Priorización de las zonas de recarga hídrica

Mediante las metodologías y cálculos propuestos, en conjunto con los mapas elaborados en el software ArcGis 10.2, se vio en la necesidad de priorizar la zona 4 con recarga hídrica de mayor trascendencia, con una baja evapotranspiración, su porcentaje de infiltración y por ser un área propensa a la acumulación de agua por año, la misma que resumimos en la siguiente tabla de acuerdo a la ilustración 25:

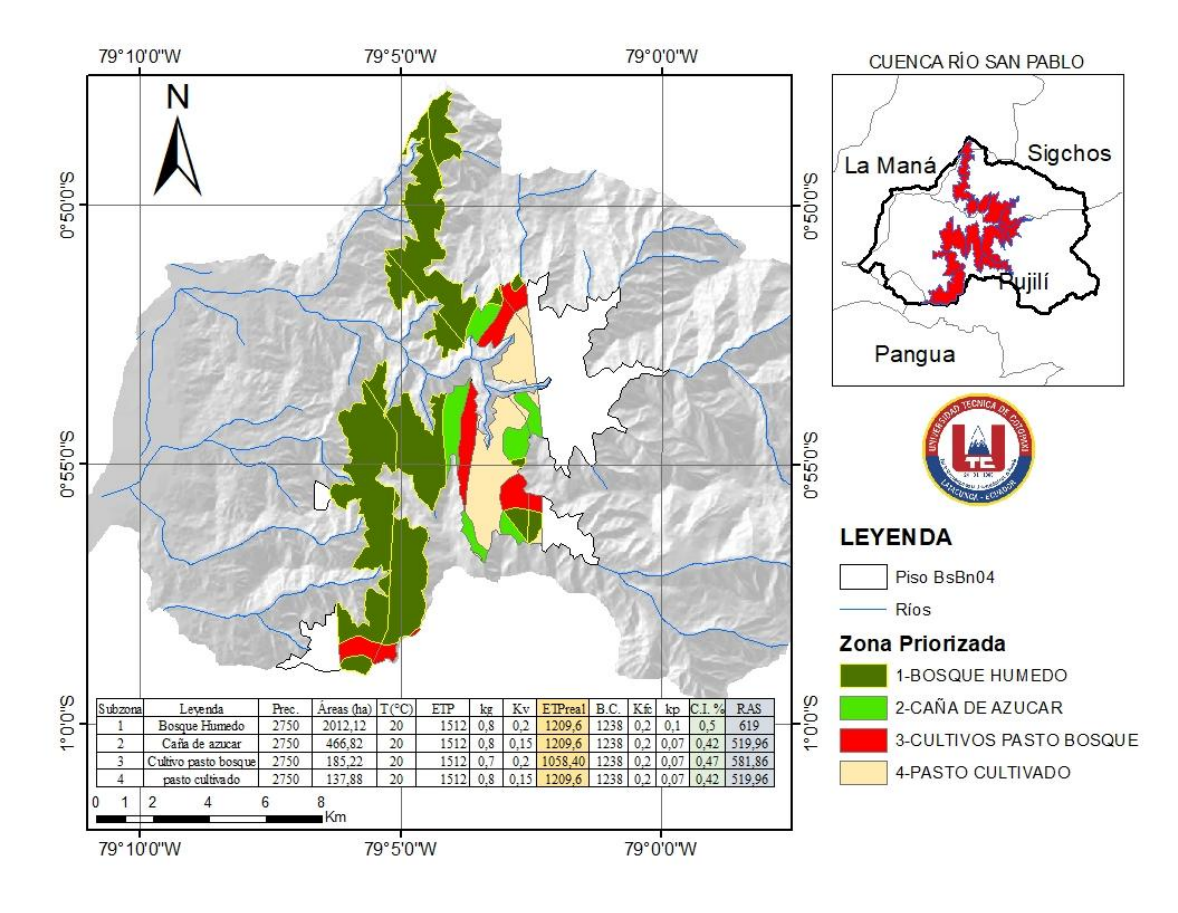
**Tabla 18:** Tabla de resumen.

Subzona	Leyenda	Prec.	Áreas (ha)	T (°C)	ETP	kg	Kv	ETPreal	B.C.	Kfc	kp	C.I. %	RAS
1	Bosque Humedo	2750	2012,12	20	1512	0,8	0,2	1209,6	1238	0,2	0,1	0,5	619
2	Caña de azucar	2750	466,82	20	1512	0,8	0,15	1209,6	1238	0,2	0,07	0,42	519,96
3	Cultivo pasto bosque	2750	185,22	20	1512	0,7	0,2	1058,40	1238	0,2	0,07	0,47	581,86
4	pasto cultivado	2750	137,88	20	1512	0,8	0,15	1209,6	1238	0,2	0,07	0,42	519,96

Elaborado por: Villacís P., 2018

En la zona uno se evidencia una gran presencia de bosque húmedo con una extensión de 3657 ha, donde se observa que llueve 2250 mm/año y posee una temperatura promedio de 20°C, lo que da como resultado una evapotranspiración real de 1080.06, con un porcentaje de 0.45 de infiltración y con una acumulación (RAS) de 404.96 mm/año, al igual que los cultivos pasto bosque; Esto nos indica que las zonas con presencia de bosque son consideradas como zonas de alta acumulación, siendo también de gran ayuda las pendientes poco pronunciadas que se presentan en la zona.

**Ilustración 26:** Priorización de las ZRH del piso bioclimático BsBn04 de la cuenca del río San Pablo.



Fuente: SNI, 2018 – Villacís P., 2018

### 10.3. MEDIDAS DE CONSERVACION DEL RECURSO HIDRICO.

- Los bosques son mucho más que un grupo de árboles acumulados en un espacio natural: son esenciales para reducir el cambio climático o prevenir desastres naturales, además que aportan a la conservación de la biodiversidad de especies forestales, por ello se propone adoptar medidas de conservación o a su vez declararlo como una zona intangible que no se la pueda tocar, ni explotar por el mismo hecho de ser un lugar propicio para la acumulación de agua subterránea y la preservación de especies vegetales por ello se hace énfasis en la protección de la zona de recarga hídrica en los bosques húmedo contenidos en el piso bioclimático BsBn04 de la Cuenca del río San Pablo, ya que el artículo 14, según el reglamento de la ley de recursos hídricos usos y aprovechamientos del agua, de acuerdo con el cambio de uso del suelo señala: “El Estado regulará las actividades que puedan afectar la cantidad y calidad del agua, el equilibrio de los ecosistemas en las áreas de protección hídrica que abastecen los sistemas de agua para consumo humano y riego; con base en estudios de impacto ambiental que aseguren la mínima afectación y la restauración de los mencionados ecosistemas.”
  
- Además la ley forestal y de conservación de áreas naturales y vida silvestre en el capítulo III de los bosques y vegetación protectores, Art. 7, señala que: “Sin perjuicio de las resoluciones anteriores a esta Ley, el Ministerio del Ambiente determinará mediante acuerdo, las áreas de bosques y vegetación protectores y dictará las normas para su ordenamiento y manejo. Para hacerlo, contará con la participación del CNRH. Tal determinación podrá comprender no sólo tierras pertenecientes al patrimonio forestal del Estado, sino también propiedades de dominio particular.”
  
- Después de haber identificado las zona de mayor importancia hídrica, se propone la conservación y protección de las especies endémicas del piso bioclimático BsBn04 y la total prohibición introducir cualquier tipo de especie alóctono, que es posible que se genere un desequilibrio en su ecosistema, todo esta propuesta es sustentada según el Art.

74 de la ley forestal y de conservación de áreas naturales y vida silvestre en el título II de las áreas naturales y de la flora y fauna silvestres en el capítulo III de la conservación de la flora y fauna silvestre, quien señala que: “El aprovechamiento de la flora y fauna silvestres no comprendidas en el patrimonio de áreas naturales del Estado, será regulado por el Ministerio del Ambiente, el que además determinará las especies cuya captura o utilización, recolección y aprovechamiento estén prohibidos.” Y el Art. 75 “Cualquiera que sea la finalidad, prohíbese ocupar las tierras del patrimonio de áreas naturales del Estado, alterar o dañar la demarcación de las unidades de manejo u ocasionar deterioro de los recursos naturales en ellas existentes.

- Se prohíbe igualmente, contaminar el medio ambiente terrestre, acuático o aéreo, o atentar contra la vida silvestre, terrestre, acuática o aérea, existente en las unidades de manejo.”

## 11. CONCLUSIONES

- El manejo de los recursos hídricos es un elemento indispensable para alcanzar conservar la calidad del agua y la productividad de los ecosistemas acuáticos, el bienestar de la sociedad, el equilibrio medioambiental y también de los recursos económicos; Siendo trascendente la aplicación de prontas alternativas ya propuestas y comenzar a cuidar y proteger las zonas de acumulación de agua multianual, así como la protección de la biodiversidad de especies forestales que aún se encuentran presentes y sin intervención del sector industrial.
- El avance de la frontera agrícola no es una repercusión que afecte a el piso bioclimático BsBn04 de la cuenca de río San Pablo, debido que su extensión es tan solo de 500 a 800 ha aproximadamente, teniendo una mayor presencia de bosques húmedo, vegetación arbustiva y todo esto enfoca un análisis de cuanto debemos proteger las zonas de recarga hídrica que a través de estudios que se puedan realizar posterior a ésta investigación se pueda proponer un mejor uso y aprovechamiento del recurso hídrico sin afectar a las zonas de protección forestal.



## 12. RECOMENDACIONES

- Dada la gran cantidad de agua que dispone la CrSP sería beneficioso implementar un proyecto de gestión de dicho recurso, así mismo la generación de políticas de conservación y protección con ayuda de organismos gubernamentales y el apoyo de los cantones que contiene la zona de estudio con una magna gestión mancomunada, para que las actividades antropogénicas, ganaderas, agrícolas y naturales cerca de fuentes acuáticas no afecten a las reservas ecológicas y mucho menos a los bosques húmedos que necesitan ser atesorados como una fuente de acumulación hídrica para los acuíferos presentes.
- Las zonas de acumulación de agua son un punto esencial para que proyectos de conservación como los bancos de Germoplasma aporten a la conservación de especies vegetativas que en algún momento en el que las especies por intervención humana de explotación desmedida de los recursos pongan en peligro a las especies endémicas del sector, dejando así en evidencia un proyecto de investigación fundamental para que las autoridades permitan que se realicen estudios dirigidos a la protección de recursos tanto como especies vegetales naturales y recurso hídrico.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

Auge, M. (2007). *Agua Fuente de Vida*. Obtenido de La Plata: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/AguaFuenteVida.pdf>

BancoMundial. (15 de 04 de 2013). *Gestión de los recursos hídricos*. Obtenido de Desafíos: <http://www.bancomundial.org/es/results/2013/04/15/water-resources-management-results-profile>

Chereque. (2011). *Ciclo Hidrológico*. Obtenido de Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y: [http://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/ciclo\\_hidrologico.pdf](http://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf)

Cordero, I. (2013). *Evaluación de la gestión territorial de la cuenca del rio paurte, estrategias y lineas de accion para superarlas*. Obtenido de universidad de cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3358/1/TESIS%20.pdf>

Custodio, G. (1998). *Recarga a los acuíferos*. Obtenido de Aspectos generales sobre el proceso, la evolución y la incertidumbre.: [file:///C:/Users/User/Downloads/Manejo\\_y\\_proteccion\\_de\\_zonas\\_de\\_recarga\\_hidrica.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Manejo_y_proteccion_de_zonas_de_recarga_hidrica.pdf)

FAO. (2015). *Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo*. Obtenido de [http://www.unesco.org/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts\\_Figures\\_SPA\\_web.pdf](http://www.unesco.org/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts_Figures_SPA_web.pdf)

Faustino, J. (2006). *Manejo de Cuencas II*. Obtenido de Documento base. : [file:///C:/Users/User/Downloads/Manejo\\_y\\_proteccion\\_de\\_zonas\\_de\\_recarga\\_hidrica.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Manejo_y_proteccion_de_zonas_de_recarga_hidrica.pdf)

FlacsoAndes. (10 de Abril de 2010). *Atlas socioambiental de Cotopaxi*. Obtenido de <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/43289.pdf>

Garate, E. M. (mayo de 2012). *sidalc.net*. Obtenido de Consejo de Gestión de Aguas de la cuenca del Paute: <http://www.sidalc.net/repdoc/A2983e/A2983e06.pdf>

GUEVARA. (2011). *Ciclo Hidrológico*. Obtenido de “Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y: [http://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/ciclo\\_hidrologico.pdf](http://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf)

INAB. (2003). (*Instituto Nacional de Bosques*). Obtenido de Metodología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural.: [file:///C:/Users/User/Downloads/Manejo\\_y\\_proteccion\\_de\\_zonas\\_de\\_recarga\\_hidrica.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Manejo_y_proteccion_de_zonas_de_recarga_hidrica.pdf)

INEC. (2010). *INEC*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>

INEFAN. (2005). Instituto Ecuatoriano Forestal y de Areas Naturales y Vida Silvestre. *Manejo de las cuencas hidrográficas*, 12 / 15. Obtenido de manejo de las cuencas hidrográficas.

Josse. (2003). *Sistema de Clasificación de Ecosistemas Del Ecuador Continental*. Obtenido de MINISTERIO DEL AMBIENTE: <file:///D:/Mapa%20bioclimatico%20del%20ecuador.pdf>

- Matus, O. (2007). *Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas*. Obtenido de Manejo y protección de zonas de recarga hídrica.:  
file:///C:/Users/User/Downloads/Manejo\_y\_proteccion\_de\_zonas\_de\_recarga\_hidrica.pdf
- MUSY. (2001). *Hydrologie générale*. Obtenido de Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne:  
[http://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/ciclo\\_hidrologico.pdf](http://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf)
- Ordoñez, J. (2011). *SENAMHI*. Obtenido de Aguas subterráneas-acuíferos :  
[http://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/cuenca\\_hidrologica.pdf](http://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf)
- Oudin. (2005). *Potential evapotranspiration*.
- Ruiz, R. (2008). *Manejo de Cuencas*. Quito: Modulo I.
- SAGARPA. (2012). *SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN*. Obtenido de HIDROLOGÍA APLICADA A LAS PEQUEÑAS OBRAS HIDRAULICAS :  
[http://www.sagarpa.gob.mx/ desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/INSTRUCTIVO\\_HIDROLOGÍA.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/ desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/INSTRUCTIVO_HIDROLOGÍA.pdf)
- SENAGUA. (2009). *SECRETARIA NACIONAL DEL AGUA DEL ECUADOR*. Obtenido de <http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/delimitacion-codificacion-Ecuador.pdf>
- Valencia. (2003). *Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental*. Obtenido de Ministerio del Ambiente :  
file:///D:/Mapa%20bioclimatico%20del%20ecuador.pdf

### 13. ANEXOS

#### Índice de Gravelius o Coeficiente de Compacidad.

$$Kc = 0.282 * \frac{P}{A^{1/2}}$$

$$A = 132.13 \text{ km}^2$$

$$P = 102.24 \text{ km}$$

$$Kc = 0.282 * \frac{102.24 \text{ km}}{132.13^{\frac{1}{2}} \text{ km}^2} = 2.51$$

Si el índice de compacidad es  $> 1$ , presenta una forma irregular y, si  $< 1$  es una cuenca circular por lo que la ScRP, presenta una forma irregular con un valor de 2.51.

#### Coeficiente de Forma (Kf)

$$kf = \frac{A}{L^2}$$

$$A = 132,13 \text{ km}^2$$

$$L = 12.339 \text{ km}$$

$$kf = \frac{132.13 \text{ km}}{12.34 \text{ km}^2} = 0.86$$

Si el Coeficiente de Forma (Kf) es  $> 0.5$  será una zona propensa, al obtener un valor de 0.86, la ScRP es una zona propensa a inundarse.

### 1. CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS

#### 3.1 Red y densidad de drenaje

Densidad de drenaje

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

$$A = 132.13 \text{ km}^2$$

$$Lt = 22.08 \text{ km}$$

$$Dd = \frac{22.08 \text{ km}}{132.13 \text{ km}^2} = 0.17$$

Al obtener un valor menor a 0.5, la Cuenca del Río San Pablo presenta un drenaje pobre.

Sinuosidad

$$S = \frac{L}{Lt}$$

$$Lt = 22.08 \text{ km}$$

$$L = 12.34 \text{ Km}$$

$$S = \frac{12.34 \text{ km}}{22.08 \text{ km}} = 0.56$$

Presenta una sinuosidad poco apreciable, con un valor de 0.56.



## **ANEXO 2**

Hoja de vida

### **1. DATOS PERSONALES**

**NOMBRES:** Verónica Paulina

**APELLIDOS:** Villacís Villacís

**CÉDULA DE IDENTIDAD:** 050358302-3

**FECHA DE NACIMIENTO:** 23 Julio de 1994

**LUGAR DE NACIMIENTO:** Salcedo

**ESTADO CIVIL:** Casada

**DIRECCIÓN:** Latacunga – Sector La FAE

**TELÉFONOS:** 032386590

**CELULAR:** 0987828122

**E-MAIL:** [veronica.villacis3@utc.edu.ec](mailto:veronica.villacis3@utc.edu.ec)



### **2.- FORMACION ACADÉMICA**

**UNIVERSITARIOS:** Egresada de la Universidad Técnica de Cotopaxi  
carrera Ingeniera en Medio Ambiente

**ESTUDIOS SECUNDARIOS:** Colegio Nacional Experimental Salcedo.

Químico Biólogo

Conservación de Alimentos

**ESTUDIOS PRIMARIOS:** Escuela Mixta “Pedro Carbo”

**IDIOMA EXTRANJERO:** Ingles

.....  
Verónica Paulina Villacís Villacís  
C.C: 050358302-3

## ANEXO 3

### CURRICULUM VITAE-DOCENTE TUTOR

- Información personal

**NOMBRES Y APELLIDOS:** José Antonio Andrade Valencia

**FECHA DE NACIMIENTO:** 19 marzo de 1979

**CEDULA DE CIUDADANÍA:** 050252448-1

**ESTADO CIVIL:** Casado

**NUMEROS TELÉFONICOS:** 0987-988-397

**E-MAIL:** jose.andrade@utc.edu.ec

- **FORMACIÓN ACADÉMICA**

**NIVEL PRIMARIO:** Escuela “Isidro Ayora”

**NIVEL SECUNDARIO:** Instituto Tecnológico Superior “Ramón Barba Naranjo”

**NIVEL SUPERIOR:** Universidad Técnica De Cotopaxi

**TITULOS OBTENIDOS: PREGRADO:** Ingeniero Agrónomo

**POSTGRADO:** Magister en Seguridad y  
Prevención de Riesgos del Trabajo.

### EXPERIENCIA ACADÉMICA E INVESTIGATIVA

- Director del proyecto “**RECUPERACIÓN DE GERMOPLASMA DE ESPECIES VEGETALES DE LA ZONA NOR-OCCIDENTAL DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI**”
- Publicaciones (revistas indexadas)

➤ IV CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIA TECNOLOGÍA, INNOVACIÓN Y  
EMPREDIMIENTO DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL BOLÍVAR.

➤ I CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA UTC 2017.

- Libros, capítulos de libros.

**Libro**

➤ Sistematización de experiencias productivas en crianza de alpacas.

- Contribuciones a congresos, seminarios, etc.

**Expositor:**

➤ Páramos Vinculación con el sistema productivo.

➤ Tematicas Abordadas en Medio Ambiente, manejo de páramos.



ANEXO 4

Certificado de haber aprobado Ingles.

