

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



## FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

### CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

#### PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**DELIMITACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RÍO ALAQUEZ CON LA  
APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) Y  
DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS PARA CULTIVOS  
DE INTERÉS. COTOPAXI, LATACUNGA 2019-2020**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de  
**INGENIERO AGRÓNOMO**

**AUTOR:**

Jefferson Nairovi Llasha Huaraca

**TUTOR:**

Ing. MSc. David Santiago Carrera Molina

**LATACUNGA-ECUADOR**

**Febrero 2020**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Yo Llasha Huaraca Jefferson Nairovi declaro ser autor del presente proyecto de investigación: Estudio de **“DELIMITACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RÍO ALAQUEZ CON LA APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) Y DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS PARA CULTIVOS DE INTERÉS. COTOPAXI, LATACUNGA 2019-2020”** siendo el Ing. David Carrera 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.

.....  
Llasha Huaraca Jefferson Nairovi

C.I.172483884-0

## **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 Llasha Huaraca Jefferson Nairovi, identificada/o con C.C. N° 172483884-0 de estado civil soltero y con domicilio en la Parroquia Chimbacalle, Cantón Quito, a quien en lo sucesivo se denominará **LA/EL 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 **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas Sigüientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** - **LA/EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de **Ingeniería en Agronomía**, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“Delimitación de la microcuenca del río Alaquez con la aplicación de sistemas de información geográfica (SIG.) y determinación de las necesidades hídricas para cultivos de interés. Cotopaxi, Latacunga 2019-2020”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

Historial académico. – Abril\_2014 – Agosto\_2014

Octubre\_2019 – Marzo\_2020

Aprobación CD. - 15 de Noviembre del 2019

Tutor. - Ing. MSc. David Santiago Carrera Molina

**Tema: “DELIMITACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RÍO ALAQUEZ CON LA APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) Y DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS PARA CULTIVOS DE INTERÉS. COTOPAXI, LATACUNGA 2019-2020”**

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - **LA CESIONARIA** 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/EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** 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/EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los Sigüientes 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.
- f) 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 **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA/EL 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 **LA CESIONARIA** 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/EL CEDENTE** podrá utilizarla.

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

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la 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, a los 12 días del mes de Febrero del 20205.

Llasha Huaraca Jefferson Nairovi  
Jiménez

**EL CEDENTE**

Ing. MBA. Cristian Tinajero

**EL CESIONARIO**

Latacunga, 07 Febrero del 2020

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

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

**“DELIMITACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RÍO ALAQUEZ CON LA APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) Y DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS PARA CULTIVOS DE INTERÉS. COTOPAXI, LATACUNGA 2019-2020”**, de Llasha Huaraca Jefferson Nairovi, de la carrera de Ingeniería Agronómica, 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 Consejo Directivo de la Facultad de de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Firma

Ing. MSc. David Santiago Carrera Molina

CC: 050266318-0

## **AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

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

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, el o los postulantes: Llasha Huaraca Jefferson Nairovi, con el título de Proyecto de Investigación “**DELIMITACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RÍO ALAQUEZ CON LA APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) Y DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS PARA CULTIVOS DE INTERÉS. COTOPAXI, LATACUNGA 2019-2020**” han 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.

Para constancia firman:

.....  
**Lector 1 (Presidente)**  
**Ing. Nelly Deleg M.Sc.**  
**CC: 0105013999**

.....  
**Lector 2**  
**Marcela Morillo M.Sc.**  
**CC: 1719994392**

.....  
**Lector 3**  
**Ing. Santiago Jiménez Mg.**  
**CC: 0501946263**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por concederme salud y fortaleza en momentos de debilidad, por guiarme en el sendero de lo sensato y darme la sabiduría en las situaciones difíciles.

A mi familia hoy y siempre que siempre han procurado mi bienestar, en especial a mis padres que me han brindado su apoyo incondicional, gracias a sus esfuerzos mis estudios han sido posibles y he podido concluir con una meta planteada en mi vida profesional.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, por las enseñanzas impartidas en sus aulas y brindado las facilidades necesarias para poner en marcha mi tesis.

A todos los docentes que constituyen la Carrera De Ingeniería Agronómica por su dedicación comprensión durante todo el tiempo de aprendizaje y de forma especial a mi tutor de tesis Ing. MSc. David Carrera, por su asesoramiento constante en la elaboración de esta investigación.

**Llasha Huaraca Jefferson**

## **DEDICATORIA**

Dedico mi trabajo de investigación a mis padres, Segundo y María, por haberme permitido llegar a culminar con responsabilidad esta importante meta, en especial a mi madre por estar a mi lado en esta etapa formación profesional, por fomentar en mí el deseo de superación en la vida y ayudado en las dificultades que se presentaban.

A mis hermanos, por sus palabras de aliento para seguir adelante, perseverar en mis ideales y ayudarme a crecer con ellos.

**Llasha Huaraca Jefferson**

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

**TITULO:** DELIMITACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RÍO ALAQUEZ CON LA APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) Y DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS PARA CULTIVOS DE INTERÉS. COTOPAXI, LATACUNGA 2019-2020

**Autor:** Llasha Huaraca Jefferson Nairovi

### RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en la parroquia Alaquez del Cantón Latacunga, con un área total de la microcuenca de 22526.27ha, con el propósito de determinar si el recurso hídrico proveniente de la microcuenca del Río Alaquez satisface la cantidad de agua para el desarrollo y producción de papa y maíz, determinados como los principales cultivos del sector por Velasco en el 2014, utilizan una base de datos de precipitación, temperatura para calcular la evapotranspiración y precipitación efectiva de los cultivos, aplicando los métodos de Oudin y Soil Conservation Service (USDA-S.C.S) respectivamente. Con la aplicación de Sistemas de Información Geográfica se delimitó la microcuenca en función de las características topográficas del lugar y se modeló el embalse para suplir las deficiencias hídricas en épocas de estiaje. Teniendo como resultado el área de manejo para los cultivos de 3652.77 ha que corresponde al 16.22%, existiendo una eficiencia de la modelación del 65% con un nivel de confianza del 95.5%. Este documento aplica y propende el uso de tecnologías para desarrollo de la agricultura de precisión.

**Palabras clave:** mapeo, modelación, cultivos, recurso hídrico, desabastecimiento.

## **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

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

**TOPIC:** “DELIMITATION OF THE ALAQUEZ RIVER MICRO-BASIN WITH THE APPLICATION OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (GIS) AND DETERMINATION OF WATER NEEDS FOR CROPS OF INTEREST. COTOPAXI, LATACUNGA 2019-2020”

**Autor:** Llasha Huaraca Jefferson Nairovi

#### **ABSTRACT**

The present investigation was carried out in a canton zone of 22526.27 located in Latacunga city, Alaquez parish, with the purpose of determining if the water resource coming from the Alaquez river basin satisfies the amount of water for development and potato and corn production, specify as the main crops in the sector by Velasco in 2014, use a database of precipitation, temperature to calculate evapotranspiration and crop effectiveness, applying the methods of Oudin and Soil Conservation Service (USDA - SCS) respectively, with the application of Geographic Information Systems, the water resource is delimited and modeled according to topographic characteristics and soil-climatic conditions, the proposal for the construction of a reservoir is modeled. Having as a result the area of management of the place is 3652.77 ha with a management percentage of 16.22%, there is a modeling efficiency of 65% with a confidence level of 95.5%, this document applies and depends on the use of technologies for Precision agriculture development.

**KEYWORDS:** Mapping, Modeling, Crops, Water resources, Shortages.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	i
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	v
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA .....	viii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
ÍNDICE DE MAPAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
ÍNDICE DE CUADROS .....	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
<b>1.-INFORMACIÓN GENERAL .....</b>	<b>18</b>
<b>1.1. Línea de investigación: .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2. Línea 1: .....</b>	<b>19</b>
Sub líneas de investigación de la Carrera: .....	19
<b>1.3. Línea de vinculación .....</b>	<b>19</b>
<b>2.-DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>19</b>
<b>3.-JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>20</b>
<b>4.- BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>21</b>
<b>4.1. Beneficiarios directos.....</b>	<b>21</b>
<b>4.2. Beneficiarios indirectos .....</b>	<b>21</b>
<b>5.-EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:.....</b>	<b>22</b>
<b>6.- OBJETIVOS:.....</b>	<b>23</b>
<b>6.1. General.....</b>	<b>23</b>
<b>6.2. Específicos.....</b>	<b>23</b>
<b>7.- ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREA EN RELACION A LOS OBJETIVOS .....</b>	<b>24</b>
<b>8.- FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA .....</b>	<b>26</b>
<b>8.1. UBICACIÓN .....</b>	<b>26</b>
<b>8.2. MICROCUENCA .....</b>	<b>27</b>
<b>8.2.1. DIMENSIÓN DE LA MICROCUENCA.....</b>	<b>27</b>
<b>8.3. METEOROLOGÍA .....</b>	<b>28</b>

8.3.1. ESTACIONES METEOROLÓGICAS .....	28
8.3.2. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS.....	29
8.3.2.1. Estación Pluviométrica .....	33
8.3.2.2. Estación Agrometeorológica .....	33
8.3.2.3. Estación Climatológica Principal .....	33
8.4. Datos de estaciones y llenado de datos faltantes .....	33
8.4.1. Método de regresión lineal.....	34
<b>8.5. MAIZ (Zea mays L.).....</b>	<b>34</b>
8.5.1. Características generales.....	34
8.5.2. Condiciones de clima y suelo aptas para el cultivo .....	35
<b>8.6. LA PAPA (Solanum tuberosum L.) .....</b>	<b>36</b>
8.6.1. Características generales.....	36
8.6.2. Condiciones de clima y suelo aptas para el cultivo .....	36
<b>8.7.1. ETc – COEFICIENTE ÚNICO DEL CULTIVO (Kc) .....</b>	<b>37</b>
8.7.1.1. COEFICIENTES DEL CULTIVO .....	37
8.7.1.2. VALORES TABULADOS DE KC .....	38
<b>8.8. PROFUNDIDAD RADICULAR. ....</b>	<b>38</b>
<b>8.9. Contenido de agua útil .....</b>	<b>39</b>
<b>8.10. MÉTODO USDA SOIL CONSERVATION SERVICE .....</b>	<b>40</b>
<b>8.11. MÉTODO DE OUDIN .....</b>	<b>42</b>
<b>8.12. FORMULAS PARA REQUERIMIENTOS HÍDRICOS .....</b>	<b>42</b>
8.12.1 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO (ETc) .....	42
8.12.2. CAPACIDAD DEL RESERVORÍO (Cr) .....	43
8.12.3. LÁMINA DE AGUA APROVECHABLE (La) .....	44
8.12.4. DOSIS NETA EN LA LÁMINA NETA (Dn).....	44
8.12.5. NUMERO DE RIEGOS AL MES (Nr mes) .....	44
8.12.6. DOSIS BRUTA O LAMINA BRUTA (Db) .....	45
<b>8.13.1. EMBALSE.....</b>	<b>46</b>
8.13.2. REALIZACIÓN DE UN EMBALSE MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL ARCMAP 10.3.....	46
<b>9.-METODOLOGÍA: .....</b>	<b>48</b>
<b>9.1. Tipo de investigación .....</b>	<b>48</b>
9.1.1. Descriptiva .....	48
9.1.2. Cualitativa .....	48
9.1.3. No experimental .....	49

<b>9.2. Modalidad básica de investigación</b> .....	49
9.2.1 Bibliográfica documental .....	49
9.2.2. De Campo.....	49
<b>9.3. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos</b> .....	49
9.3.1 Observación de campo .....	49
9.3.2. Registro de datos .....	49
<b>9.4. DESARROLLO METODOLÓGICO</b> .....	<b>50</b>
<b>9.4.1. DELIMITACIÓN DE LA MICROCUENCA</b> .....	<b>50</b>
<b>9.4.1.1. OBTENCIÓN DE IMÁGENES RASTER (ADVANCED SPACEBORNE THERMAL EMISSION AND REFLECTION RADIOMETER)</b> .....	50
<b>9.4.1.2. DIRECCIÓN DE FLUJO</b> .....	51
<b>9.4.1.3. ACUMULACIÓN DE FLUJO</b> .....	52
<b>9.4.1.4. CÁLCULO DEL UMBRAL</b> .....	53
<b>9.4.1.5. RED DE DRENAJES</b> .....	53
<b>9.4.1.6. GENERACIÓN DE CUENCAS</b> .....	54
<b>9.4.1.7. VECTORIZACIÓN Y CODIFICACIÓN</b> .....	54
<b>9.5. CALCULO REQUERIMIENTOS HÍDRICOS</b> .....	<b>56</b>
<b>9.5.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN POR EL MÉTODO DE OUDIN</b> .....	<b>61</b>
<b>9.6. MODELACIÓN DEL EMBALSE PARA LA MICROCUENCA DEL RÍO ALAQUEZ</b> .....	<b>64</b>
<b>10.- MANEJO ESPECÍFICO DEL PROYECTO.</b> .....	<b>67</b>
<b>11.- ANÁLISIS Y RESULTADOS</b> .....	<b>68</b>
<b>11.1. Delimitación de la microcuena para el estudio en la parroquia de Alaquez.</b> .....	68
<b>11.2. Calculo de necesidades hídricas para los cultivos de papa y maíz</b> .....	71
11.2.1. Llenado de datos faltantes de estaciones usadas .....	71
11.2.2. Evapotranspiración por el método de Oudin.....	73
11.2.3. Precipitación efectiva por USDA SOIL CONSERVATION SERVICE .....	74
<b>11.2.4. Necesidad hídrica para el cultivo de la papa</b> .....	78
<b>11.2.5. Necesidad hídrica para el cultivo de la Maíz</b> .....	81
<b>11.3. Modelación del embalse cálculos</b> .....	84
<b>12. MATRIZ DE INVOLUCRADOS</b> .....	<b>90</b>
<b>13. PRESUPUESTO</b> .....	<b>92</b>
<b>14. CONCLUSIÓN</b> .....	<b>93</b>
<b>15. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>94</b>
<b>16. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>95</b>

<b>17. ANEXOS.....</b>	<b>98</b>
------------------------	-----------

### **ÍNDICE DE MAPAS**

Mapa N° 1.-Ubicación geográfica de la microcuenca del Río Alaquez.....	26
Mapa N° 2 Ubicación de las estaciones para el estudio. ....	30
Mapa N° 3.- Red de drenajes de la microcuenca.....	53
Mapa N° 4.- Generación de cuencas .....	54
Mapa N° 5.- Mapa vectorización de las cuencas.....	55
Mapa N° 6 Unidad hidrografía de la microcuenca del Río Alaquez.....	68
Mapa N° 7 Unidad hidrografía modificada de la microcuenca del Río Alaquez .....	69
Mapa N° 8 Taxonomía del suelo presente en la microcuenca del Río Alaquez.....	70
Mapa N° 9 Niveles de pendiente existentes en la microcuenca del Río Alaquez .....	87
Mapa N° 10 Modelación final del embalse con el mapa de infiltraciones y área afectada de la modelación dl embalse.....	88

### **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla N° 1.- Coordenadas de localización. ....	26
Tabla N° 2.- Descripción de las estaciones meteorológicas cercanas al estudio.....	30
Tabla N° 3.- Descripción de las estaciones cercanas al estudio. ....	31
Tabla N° 4.- Descripción referente al estudio de las estaciones meteorológicas. ....	31
Tabla N° 5.- Descripción referente al estudio de las estaciones.....	31
Tabla N° 6.- Datos generales de las estaciones meteorológicas.....	32
Tabla N° 7.- Datos generales de las estaciones hidrológicas. ....	32
Tabla N° 8 Estaciones utilizadas para el estudio .....	32
Tabla N° 9.- Sistemas de riego y sus porcentajes de eficiencia .....	45
Tabla N° 10. -Datos incompletos de precipitación de la Estación Pluviométrica Saquisili (M0375), instalada por INHAMI en la Provincia de Cotopaxi en el Cantón Pujilí perteneciente a la Cuenca del Río Amazonas, con registro activo de datos desde 1979 hasta el 2015. ....	57
Tabla N° 11 Porcentaje de espacios blancos de los datos de la Estación Pluviométrica Saquisili (M0375). ....	58
Tabla N° 12 Datos incompletos de temperatura de la Estación Agro meteorológica Rumipamba - Salcedo (M0004), instalada por INHAMI en la Provincia de Cotopaxi en	

el Cantón Salcedo en la parroquia San Miguel perteneciente a la Cuenca del Río Amazonas, con registro activo de datos desde 1976 hasta el 2015. ....	59
Tabla N° 13 Porcentaje de espacios blancos de los datos de temperatura de la Estación Agro meteorológica Rumipamba - Salcedo (M0004). ....	60
Tabla N° 14 Cálculo de evapotranspiración potencial (ETo) utilizando la formulación propuesta por Oudin et al. (2005).....	61
Tabla N° 15 Cálculo de la precipitación efectiva mensual (S. C. S).....	62
Tabla N° 16 Parámetro estadísticos para cambio de pixel .....	64
Tabla N° 17 .- Resumen promedios del llenado de datos incompletos de precipitación de la Estación Pluviométrica Saquisili (M0375), instalada por INHAMI en la Provincia de Cotopaxi en el Cantón Pujilí perteneciente a la Cuenca del Río Amazonas, con registro activo de datos desde 1979 hasta el 2015.....	71
Tabla N° 18.- Resumen de promedios del llenado de datos incompletos de Temperaturas de la Estación Agro meteorológica Rumipamba-Salcedo (M0004), instalada por INHAMI en la Provincia de Cotopaxi en el Cantón Salcedo en la Parroquia San Miguel perteneciente a la Cuenca del Río Amazonas, con registro activo de datos desde 1976 hasta el 2015.....	72
Tabla N° 19.- Resumen del cálculo de la evapotranspiración mediante el uso del Método de Oudin, para estimar necesidades hídricas del cultivo de papa y maíz .....	73
Tabla N° 20.- Resumen de la estimación de la precipitación efectiva mensual mediante el uso del método de USDA SOIL CONSERVATION SERVICE.....	74
Tabla N° 21 Relación de precipitación efectiva y temperatura del Río Alaquez .....	75
Tabla N° 22 Relación de temperatura y precipitación y su determinación de la evapotranspiración potencial. ....	76
Tabla N° 23 Resumen de cálculos elaborados.....	78
Tabla N° 24 Propiedad física del suelo presente en la delimitación de la microcuenca del Río Alaquez, con profundidad radicular de la papa. ....	79
Tabla N° 25 Necesidades hídricas del cultivo de papa en los meses de mayo y junio..	79
Tabla N° 26 Resumen de cálculos elaborados.....	81
Tabla N° 27 Propiedad física del suelo presente en la delimitación de la microcuenca del Río Alaquez, con profundidad radicular del maíz en mm. ....	82
Tabla N° 28 Necesidades hídricas del cultivo de Maíz en los meses de octubre, noviembre y enero. ....	82

Tabla N° 29 Establecimiento de parámetros estadístico para modelar una nueva imagen áster de 5*5.....	84
Tabla N° 30 Superficie total de la cuenca y el área de manejo con la modelación del embalse.....	85
Tabla N° 31 Parámetros de volumen e inundación dl embalse.....	85
Tabla N° 32 Datos de evaluación de precipitaciones que afectan al llenado del embalse .....	86
Tabla N° 33. Presupuesto del proyecto .....	92

### ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1.- Red conceptual de la estación meteorológica.....	29
Cuadro N° 2.- Porcentajes de absorción del agua en las raíces.....	39
Cuadro N° 3.- Profundidad de las raíces.....	39
Cuadro N° 4.- Propiedades físicas de los suelos .....	40
Cuadro N° 5.- Modelo de creación de embalses en ArcGIS .....	47
Cuadro N° 6.- Codificación de la dirección de flujo .....	51
Cuadro N° 7.- Determinación de la acumulación de flujo .....	52

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1- Relación temperatura para estimación de la ETo mensual.....	73
Figura N° 2.- Precipitación efectiva estimada por el método de USDA .....	74
Figura N° 3.- Diagrama Ombrotérmico del Río Alaquez de los años 1976 al 2015 .....	75
Figura N° 4.- Diagrama Ombrotérmico con relación a la evapotranspiración potencial. ....	76

### ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1 Recorrido por el rio Alaquez .....	98
Anexo N° 2 Observación de las condiciones del rio alaquez .....	98
Anexo N° 3 Mapa Ecuador continental con el Cantón Latacunga .....	99
Anexo N° 4 Mapa de estaciones meteorológicas del área de estudio .....	100
Anexo N° 5 Mapa acumulación para delimitación de la microcuenca.....	102

Anexo N° 6	Mapa dirección del flujo para la microcuenca .....	103
Anexo N° 7	Mapa relleno de sumideros para la creación de la microcuenca .....	104
Anexo N° 8	Mapa de red de drenajes para la microcuenca del río Alaquez .....	105
Anexo N° 9	Mapa de generación de cuencas .....	106
Anexo N° 10	Mapa delimitación de la microcuenca modificada .....	107
Anexo N° 11	Mapa hidrográfico de la microcuenca del río Alaquez.....	108
Anexo N° 12	Mapa de los principales afluentes nacientes para la formación del río Alaquez.....	109
Anexo N° 13	Mapa área de inundación de la modelación del embalse .....	110
Anexo N° 14	Mapa área de acumulación de agua que llega a la modelación del embalse .....	111
Anexo N° 15	Mapa de MDT de 5*5 reducción de píxeles.....	112
Anexo N° 16	Mapa taxonomía en la microcuenca del río Alaquez .....	113
Anexo N° 17	Mapa de pendientes de la microcuenca del río Alaquez .....	114
Anexo N° 18	Mapa distanciamiento de escurrimiento del agua en razón del estudio ..	115
Anexo N° 19	Mapa de infiltración de la microcuenca del río Alaquez.....	116
Anexo N° 20	Mapa final de la modelación del embalse .....	117
Anexo N° 21	Valores del coeficiente único (promedio temporal) del cultivo, Kc y alturas medias máximas de las plantas para cultivos no estresados y bien manejados en climas sub-húmedos ( $HR_{min} \approx 45\%$ , $u_2 \approx 2 \text{ m s}^{-1}$ ) para usar en la fórmula de la FAO Penman-Monteith $E_{To}$ .....	118
Anexo N° 22	Tabla de días julianos .....	120
Anexo N° 23	Abstracción inicial o umbral de escorrentía en mm .....	121
Anexo N° 24	Ubicación del punto de aforo .....	121
Anexo N° 25	Tabla del llenado de datos faltantes de la estación Saquisilí M0735 .....	122
Anexo N° 26	Tabla llenada de datos faltantes de la estación Rumipamba Salcedo M0004 con datos de temperatura .....	124
Anexo N° 27	Tabla de Kc inicial medio y final del cultivo de papa y maíz. ....	126
Anexo N° 28	Tabla T de Student.....	127

## **1.-INFORMACIÓN GENERAL**

### **Título del Proyecto:**

“DELIMITACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RÍO ALAQUEZ CON LA APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) Y DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS PARA CULTIVOS DE INTERÉS. COTOPAXI, LATACUNGA 2019-2020”.

### **Fecha de inicio:**

Septiembre del 2019.

### **Fecha de finalización:**

Febrero del 2020.

### **Lugar de ejecución:**

- Parroquia Alaquez - Cantón Latacunga – Provincia de Cotopaxi.

### **Facultad que auspicia**

- Facultad De Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.

### **Carrera que auspicia:**

Ingeniería Agronómica.

### **Proyecto de investigación vinculado:**

**Proyecto** “Determinación de la calidad de sitio en tres cultivos (papas, maíz, chocho) del Cantón Latacunga mediante teledetección.”

### **Equipo de Trabajo:**

Responsable del Proyecto Ing. MSc. David Santiago Carrera Molina

Tutor: Ing. MSc. David Carrera CC. 050266318-0

Lector 1: Ing. Nelly Deleg M. Sc CC. 010501399-9

Lector 2: Marcela Morillo M.Sc. CC. 171999439-2

**Coordinador del Proyecto**

Nombre: Jefferson Nairovi Llasha Huaraca

Teléfonos: 0986338528

Correo electrónico: jefferson.llasha8840@utc.edu.ec

**Área de Conocimiento:**

Agricultura - Agricultura, silvicultura y pesca - producción agropecuaria

**1.1. Línea de investigación:**

**1.2. Línea 1:**

- a. Análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local

**Sub líneas de investigación de la Carrera:**

- a. Producción agrícola sostenible

**1.3. Línea de vinculación**

- a. Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética para el desarrollo humano social.

**2.-DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

Se realizó una identificación de la zona y toma de información en puntos estratégicos mediante la utilización del GP, información que permite la elaboración del estudio centrado en la delimitación de una microcuenca modificada y determinar las necesidades hídricas del cultivo de la papa y maíz, principales productos de la zona y realización del proyecto mediante la utilización de la Herramienta de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

### **3.-JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

El uso del agua para fines agrícolas es un tema central en cualquier debate sobre los recursos hídricos y la seguridad alimentaria. En promedio, en la agricultura se ocupa el 70 % del agua que se extrae en el mundo, y las actividades agrícolas representan una proporción aún mayor del "uso consuntivo del agua" debido a la evapotranspiración de los cultivos(Banco Mundial, 2019).

La presente investigación se basó en el uso adecuado del agua en zonas de producción agrícola busca elevar la producción de los pequeños agricultores de Alaquez, los cuales no poseen una concesión de agua de riego para sus cultivos, específicamente para la producción de papa y maíz debido a que han sido desplazados por la agricultura extensiva de brócoli y flores predominantes en el sector. Esta investigación se enmarca en la agricultura de precisión del recurso agua, a través de la modelación de un embalse realizada en ArcGis que satisfaga las necesidades hídricas de estos cultivos, mediante un proceso de distribución igualitario.

#### **4.- BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

La parroquia de Alaquez con un número de habitantes de Total 5481 habitantes por la última información obtenida del CENSO 2010.

Siendo así los beneficiarios directos los moradores de la provincia Cotopaxi, Cantón Latacunga, Parroquia Alaquez por ser partícipes del proyecto la Universidad Técnica de Cotopaxi.

##### **4.1. Beneficiarios directos**

Los beneficiarios directos del presente proyecto serán los habitantes del Cantón Latacunga, Parroquia Alaquez

##### **4.2. Beneficiarios indirectos**

Los beneficiarios indirectos serán la Universidad Técnica de Cotopaxi y los estudiantes de la carrera de Ingeniería Agronómica que podrán basarse en la información obtenida para su posterior investigación, de datos de la microcuenca del Río Alaquez que se encuentra ubicada en el Cantón Latacunga, Parroquia Alaquez y que podrán ser aprovechadas desde el punto de vista académico y/o investigativo. Además, se verán beneficiados investigadores cuyos resultados serán parte del proceso de titulación.

El conocimiento de las microcuencas es un recurso de gran importancia para un mejor aprovechamiento de los habitantes de la zona ya que, al poseer una fuente natural de agua para suministrar a sus cultivos que son de importancia económica del sector se pueda elevar sus ganancias al tener un diagnóstico de las necesidades hídricas que poseen cada uno de estos cultivos, ya que son fuente principal de ingreso en algunos casos y son de labor ardua para las personas dedicadas a la agricultura.

## **5.-EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:**

En la publicación de (El Telégrafo, 2014) expresa que: 9.1 kilómetros al norte de Latacunga está la parroquia rural Aláquez. Allí el 70% de la población se dedica a la agricultura, y su principal problema es la falta de agua para riego, especialmente en el verano, a esto se suma la distribución inequitativa del agua y su sistema de conducción , que esta limitada, por el tiempo de concesión y extensión de terreno, además que el escaso recurso hídrico al que tienen acceso los pequeños agricultores no es aprovechado en su totalidad, existiendo un desperdicio de agua. Como consecuencia se evidencia la proliferación de pastos en el sector ya que muchos han cambiado la producción agrícola por la lechera, sin entender que este cambio demanda de más cantidad de agua para el mantenimiento de los pastos, esta investigación pretende dar soluciones concretas a los agricultores del sector, que se dedican a la producción de maíz y papa, enfocado a la correcta utilización del recurso agua.

## **6.- OBJETIVOS:**

### **6.1. General**

- Determinar la disponibilidad hídrica en la microcuenca del Río Alaquez para los cultivos de maíz y papa, mediante la utilización de la herramienta de sistemas de información geográfica (SIG).

### **6.2. Específicos**

- Elaborar una base de datos de precipitación, temperatura y evapotranspiración de estaciones meteorológicas cercanas a la microcuenca del Río Alaquez de los años 1976 al 2015.
- Estimar la necesidad hídrica para cada cultivo (papa, maíz) en la zona de estudio.
- Modelar el recurso hídrico mediante de sistemas de información geográfica

## 7.- ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREA EN RELACION A LOS OBJETIVOS

Objetivo 1	Actividad	Resultado de la actividad	Medios de Verificación
<ul style="list-style-type: none"> <li>Elaborar una base de datos de precipitación, temperatura y evapotranspiración de estaciones meteorológicas cercanas a la microcuenca del Río Alaquez de los años.</li> </ul>	Identificación de estaciones meteorológicas (pluviométricas, agroclimáticas), con un radio de 20km	<p>Datos climáticos de la zona para la realización de cálculos de requerimientos</p> <p>Generación de un Excel que contenga todos los datos de las estaciones cercanas a la microcuenca del Río Alaquez</p>	<p>Mapas generados desde ArcGIS</p> <p>Libro en Excel con datos</p>
Objetivo 2	Actividad	Resultado de la actividad	Medios de verificación
<ul style="list-style-type: none"> <li>Estimar el requerimiento hídrico para cada cultivo (papa, maíz) de la zona con respecto al terreno.</li> </ul>	Cálculo el requerimiento hídrico de los principales cultivos (papa, maíz)	Determinación de requerimientos hídricos de los cultivos	Libro de Excel cálculos de requerimientos hídricos

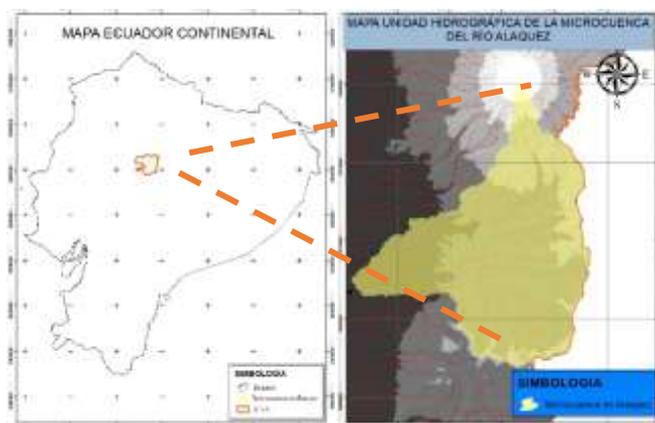
Objetivo 3	Actividad	Resultado de la actividad	Medios de verificación
<ul style="list-style-type: none"> <li>Modelar el recurso hídrico mediante de sistemas de información geográfica</li> </ul>	<p>Cálculo el volumen requerido para el embalse</p> <p>Utilización del programa ArcGIS, para la creación de un Modelo Digital de Terreno (MDT)</p>	<p>Generación de un Mapa en 2D</p>	<p>Mapas generados en el ArcGIS</p> <p>Impresos de la modelación embalse</p>

## 8.- FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

### 8.1. UBICACIÓN

El Río Aláquez pertenece a Cotopaxi en Ecuador, está clasificado como: Hidrográfico (Río, riachuelo, arroyo, etc.), se encuentra ubicado exactamente en la parte central de la vertiente naciente del afluente Principal del Volcán Cotopaxi correspondiente a la Demarcación Hidrográfica del Pastaza para la Microcuenca del Río Aláquez (DHP), como se puede apreciar en la Figura 1. Su extensión territorial es de 18,637 ha y cubre parte de las parroquias de Latacunga, Aláquez, Mulalo y José Guango Bajo, pertenecientes a la provincia de Cotopaxi (Maps, 2019).

**Mapa N° 1.-Ubicación geográfica de la microcuenca del Río Aláquez.**



*Elaborado por* (Llasha, 2019)

Las coordenadas métricas de la localización de la unidad hidrográfica en datum WGS84 UTM Zona 17 Sur, se especifican en la Tabla 1.

**Tabla N° 1.- Coordenadas de localización.**

ORIENTACIÓN	X	Y
NORTE	785247,67	9923998,2
SUR	785091,14	9902294,1
ESTE	790636,34	9911084,7
OESTE	774709,29	9911078,4

*Elaborado por* (Llasha, 2019)

La cartografía base existente para la ejecución de este proyecto, es la unidad hidrográfica, así como la cartografía oficial liberada por el Instituto Geográfico Militar (IGM) a escala 1:50,000 y 1:250,000, correspondiente a la hidrografía del área de estudio. Los archivos se encuentran disponibles en formato shapefile.

El proceso de delimitación se regirá bajo las normativas establecidas por el método Pfafstetter, que según la UICN (2009), identifica 3 tipos de unidades hidrográficas descritas a continuación:

- Cuenca: Es el área de captación que no recibe drenaje de ninguna otra área, pero que sí aporta con flujo a otra unidad hidrográfica.
- Inter cuenca: Es considerada como una unidad de drenaje de tránsito del río principal, a la cual también aporta su propio recurso hídrico. Se puede mencionar también, que es aquella unidad que capta el flujo de una unidad hidrográfica que se ubica aguas arriba, y que drena por el río principal conjuntamente con el caudal que genera.
- Cuenca interna: Es el área de drenaje aislada que no recibe flujo ni aporta caudal a otra área de captación.

## **8.2. MICROCUENCA**

La microcuenca se define como una pequeña unidad geográfica donde vive una cantidad de familias que utiliza y maneja los recursos disponibles, principalmente suelo, agua y vegetación.

Desde el punto de vista operativo, posee un área que puede ser planificada mediante la utilización de recursos locales y un número de familias que puede ser tratado como un núcleo social que comparte intereses comunes (agua, servicios básicos, Infraestructura, organización, entre otros.).

### **8.2.1. DIMENSIÓN DE LA MICROCUENCA**

La dimensión de una microcuenca está definida por la naturaleza. Sin embargo, algunas veces hay que hacer ciertos ajustes operativos en función de las capacidades de las instituciones vinculadas con su manejo y desarrollo.

En El Salvador, por las características accidentadas del territorio y la fragmentación de la tierra, una microcuenca hidrográfica, para fines de planificación con recursos locales, no debe tener más de 700 ha o 100 familias. Como rangos ideales, se recomienda un área de 250 a 350 ha y/o una población entre 50 y 70 familias.

Ello no Significa que microcuencas mayores o más pobladas no puedan ser trabajadas. En estos casos, se puede hacer ajustes, tomando las Siguintes decisiones:

Aumentar los recursos disponibles (personal de asistencia técnica, logística y recursos financieros) para atender una microcuenca más grande y más poblada.

Dividir la microcuenca en sectores (por ejemplo, vertiente izquierda o derecha, parte alta, media o baja) y trabajar como grupos separados, pero complementarios y desplazados en el tiempo.

Cuando se trata de microcuencas más pequeñas dos o más de ellas pueden ser atendidas como “una sola microcuenca” para fines de atención institucional y aumentar el impacto de las acciones.

### **8.3. METEOROLOGÍA**

La Meteorología es la ciencia encargada del estudio de la atmósfera, de sus propiedades y de los fenómenos que en ella tienen lugar, los llamados meteoros. El estudio de la atmósfera se basa en el conocimiento de una serie de magnitudes, o variables meteorológicas, como la temperatura, la presión atmosférica o la humedad, las cuales varían tanto en el espacio como en el tiempo.

#### **8.3.1. ESTACIONES METEOROLÓGICAS**

Una estación Meteorológica Automática (EMA) es una estación en la que los instrumentos efectúan y transmiten o registran automáticamente las observaciones, realizando directamente, en caso necesario, la conversión a la clave correspondiente, o bien realizándose esa conversión en una estación transcriptor.

Una estación meteorológica es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan tanto para la

elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos.

**Cuadro N° 1.- Red conceptual de la estación meteorológica.**



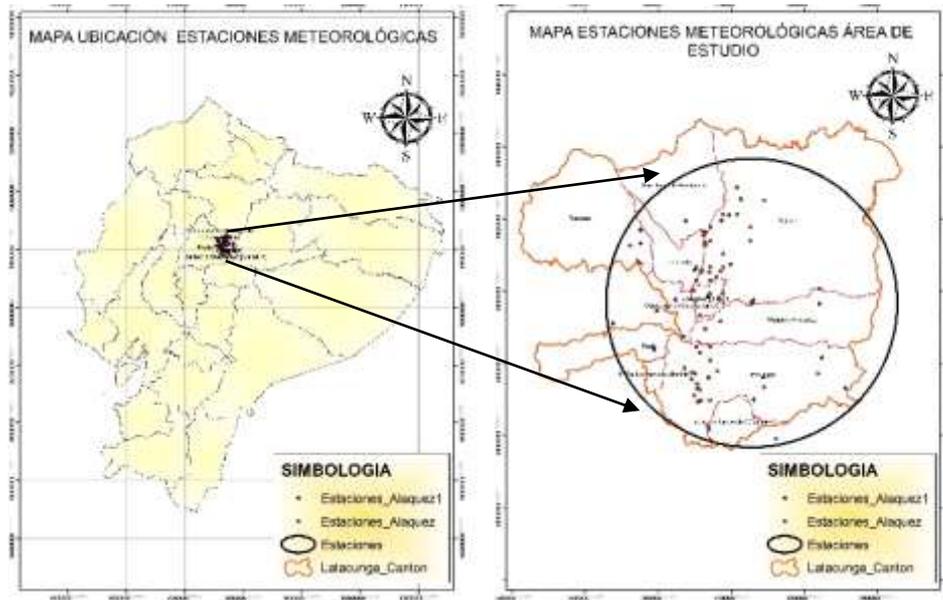
*Tomado de:* (Campetella, Cerne, & Salio, 2011)

A razón de la identificación de estaciones meteorológicas que estén inmersas en la zona de estudio aquellas que nos arrojan los valores para el cálculo de las necesidades de los cultivos, estos datos también se pueden obtener de la página de worldclim (<http://worldclim.org/version2>), los cuales son necesario aquellas estaciones con un funcionamiento mínimo 15 años de uso para que aquellos datos sean utilizables.

### **8.3.2. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS**

Para la determinación de las estaciones meteorológicas que estarán en uso se establece un área alrededor de estudio de 20 kilómetros a la redonda de las cuales se seleccionarán las estaciones meteorológicas que estén activas y las que sean representativas para el estudio, aquellas que tengan una diferencia de cota que oscile de entre los 100 msnm a los 300 msnm, pero para mayor precisión se trabaja con aquellas que posean una diferencia de cota de 100msnm.

**Mapa N° 2 Ubicación de las estaciones para el estudio.**



*Elaborado por:* (Llasha, 2019)

Las estaciones que se encuentran en un radio de 20 kilómetros se identificó alrededor de 103 estaciones meteorológicas entre ellas se encuentran aquellas que nos dan valores de: pluviométrica (PV), aeronáutica (AR), climatológica principal (CP), climatológica ordinaria (CO), limnimétrica (LM), Agrometeorológica (AG) del total de estaciones existen 5 estaciones que en la actualidad están activas, las cuales se detallaran continuación en la Tabla N°1.

**Tabla N° 2.- Descripción de las estaciones meteorológicas cercanas al estudio.**

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>		<b>Estado</b>
M0369	CUSUBAMBA	PLUVIOMETRICA	PV	Activa
M0375	SAQUISILI	PLUVIOMETRICA	PV	Activa

*Tomado de:*(INAMHI, 2015)

**Tabla N° 3.- Descripción de las estaciones cercanas al estudio.**

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>		<b>Estado</b>
M0004	RUMIPAMBA-SALCEDO	AGROMETEOROLÓGICA	AG	Activa
M1210	PUJILI	CLIMATOLOGICA PRINCIPAL	CP	Activa
M1238	UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI-UTC	CLIMATOLOGICA PRINCIPAL	CP	Activa

*Tomado de:*(INAMHI, 2015)

Las cuales poseen una descripción altitudinal y distancias que poseen en referencia al punto de aforo colocado en el área de estudio los cuales se detalla a continuación en la Tabla N°3 y 4, a su vez de la institución que proviene la provincia, cantón y parroquia en la que residen las estaciones y a que afluente pertenecen esto se detalle en la Tabla N°5 y 6.

**Tabla N° 4.- Descripción referente al estudio de las estaciones meteorológicas.**

<b>Código</b>	<b>coordenadas</b>			<b>Distancia al proyecto (km)</b>	<b>Diferencia de altura con el proyecto (m)</b>
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Elevación (msnm)</b>		
M0369	755408	9881116	3175	19.29	-387
M0375	759818	9907293	2892	10.10	-104

*Tomado de:*(INAMHI, 2015)

**Tabla N° 5.- Descripción referente al estudio de las estaciones.**

<b>Código</b>	<b>coordenadas</b>			<b>Distancia al proyecto (km)</b>	<b>Diferencia de altura con el proyecto (m)</b>
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Elevación (msnm)</b>		
M0004	767445	9886792	2685	11.87	103
M1210	755046	9893807	2955	10.26	-167
M1238	764570	9889098	2725	9.15	63

*Tomado de:*(INAMHI, 2015)

**Tabla N° 6.- Datos generales de las estaciones meteorológicas.**

<b>Código</b>	<b>Institución</b>	<b>Provincia</b>	<b>Cantón</b>	<b>Parroquia</b>	<b>Cuenca</b>
M0369	INAMHI	COTOPAXI	SALCEDO	CUSUBAMBA	Cuenca Río Amazonas
M0375	INAMHI	COTOPAXI	SAQUISILI	SAQUISILI	Cuenca Río Amazonas

*Tomado de:*(INAMHI, 2015)

**Tabla N° 7.- Datos generales de las estaciones hidrológicas.**

<b>Código</b>	<b>Institución</b>	<b>Provincia</b>	<b>Cantón</b>	<b>Parroquia</b>	<b>Cuenca</b>
M0004	INAMHI	COTOPAXI	SALCEDO	SAN MIGUEL	Cuenca Río Amazonas
M1210	INAMHI	COTOPAXI	PUJILI	PUJILI	Cuenca Río Amazonas
M1238	INAMHI	COTOPAXI	PUJILI	PUJILI	Cuenca Río Amazonas

*Tomado de:*(INAMHI, 2015)

**Tabla N° 8 Estaciones utilizadas para el estudio**

<b>Nombre</b>	<b>Código</b>	<b>coordenadas</b>			<b>Distancia al proyecto (km)</b>	<b>Diferencia de altura con el proyecto (m)</b>
		<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Elevación (msnm)</b>		
RUMIPAMBA-SALCEDO	M0004	767445	9886792	2685	11.87	103
SAQUISILI	M0375	759818	9907293	2892	10.10	-104

*Tomado de:*(INAMHI, 2015)

Se tomaron en cuenta estas estaciones meteorológicas pluviométricas y agrometeorológica, por ser las que presentan más datos con los que registran desde el año de 1976 hasta el año del 2015 con más de 10 años de funcionamiento los cuales son que poseen datos de mayor relevancia.

### **8.3.2.1. Estación Pluviométrica**

Es la estación meteorológica que tiene un pluviómetro o recipiente que permite medir la cantidad de lluvia caída entre dos mediciones realizadas consecutivas.

“Consta de un pluviómetro el cual es un instrumento destinado a medir las alturas de agua de las precipitaciones, cuya superficie receptora es un anillo de doscientos centímetros cuadrados de superficie, bajo la suposición de que las precipitaciones están uniformemente distribuidas sobre una superficie horizontal impermeable y que no están sujetas a evaporación. Se mide las precipitaciones a una altura de un metro con veinte centímetros para evitar corrientes turbulentas a baja altura y salpicando en la superficie terrestre” (INAMHI, 2014).

### **8.3.2.2. Estación Agrometeorológica**

Esta estación meteorológica realiza mediciones y observaciones meteorológicas y biológicas, incluyendo fenológicas y otro tipo de observaciones que puedan ayudar a la determinación de las relaciones entre el tiempo y el clima, por una parte y la vida de las plantas y los animales, por la otra. Incluye el mismo programa de observaciones de la estación climatológica principal, más registros de temperatura a varias profundidades (hasta un metro) y en la capa cercana al suelo (0, 10 y 20 cm sobre el suelo)(pce, s. f.).

### **8.3.2.3. Estación Climatológica Principal**

Es aquella estación meteorológica que esta provista para realizar observaciones del tiempo atmosférico actual, cantidad, visibilidad, precipitaciones, temperatura del aire, humedad, viento, radiación solar, evaporación y otros fenómenos especiales. Normalmente se realizan unas tres mediciones diarias(pce, s. f.).

## **8.4. Datos de estaciones y llenado de datos faltantes**

Se desplegará los datos de cada una de las estaciones tal como se obtienen y posterior se realizará la complementación de los datos faltantes para poder realizar los respectivos cálculos.

Una vez determinado los datos faltantes se procede al llenado de los mismos mediante los promedios anuales de cada año y se lo completa copiando estos datos en las celdas faltantes, citaremos uno de los métodos más recomendados para el llenado de datos

faltantes, teniendo en cuenta que por la falta de simetría en los datos no se podrá utilizar este método, se cuenta con estaciones meteorológicas inactivas, con registro de datos de hasta 3 o 5 años los cuales no se utilizarán, por falta de registro de datos necesarios para el estudio.

#### **8.4.1. Método de regresión lineal**

En su evaluación (Romero & Casimiro, 2015), afirman que, este método es uno de los más utilizados; se recomienda para la estimación de datos mensuales y anuales. Se requiere establecer una regresión y correlación lineal con la estación patrón consistente, mediante una ecuación lineal de dos variables:

1

$$y = a + bx$$

**Donde:**

$y$  = es la precipitación estimada,

$x$  = es la precipitación de la estación patrón

$a$  y  $b$  = son las constantes de la regresión lineal.

A través del coeficiente de correlación ( $R$ ) se determina la mejor estación vecina más cercana como patrón. En términos hidrológicos, se considera aceptable un valor de  $-0.8 \leq R \leq 0.8$  (UNESCO-ROSTLAC, 1982; Pizarro et al, 1993; 2009).

### **8.5. MAIZ (*Zea mays* L.)**

#### **8.5.1. Características generales**

El maíz de altura es uno de los cultivos más importantes de la zona andina, debido al área dedicada al cultivo, y por ser un componente básico de los sistemas de producción y alimentación del hombre andino. Existen múltiples problemas relacionados al maíz en la zona andina, como la baja fertilidad de suelos, plagas, enfermedades, variedades de bajo rendimiento y susceptibles a factores bióticos y abióticos, condiciones climáticas

adversas como heladas, granizadas, déficit hídrico en los períodos críticos del cultivo, entre otros (Morales, 2015).

Es un cereal que se adapta ampliamente a diversas condiciones ecológicas y edáficas, por eso se cultiva en todo el mundo. Y las razones que hacen del maíz un cultivo popular son:

- Su alto contenido de nutrientes en forma concentrada
- Su fácil transporte y cosecha
- La envoltura de hojas protege los granos contra daños por pájaros y lluvias.
- No hay muchas pérdidas de granos durante su manejo
- Existen cultivos con diferentes períodos vegetativos.

Se usa tanto para la alimentación humana, animal e industrial. Industrial se procesa gran número de productos y subproductos como aceites, celuloide, explosivos, plásticos, jabón, glicerina, emulsiones, productos medicinales y farmacéuticos. Importante en la alimentación animal, tanto como forraje, balaceados, granos enteros molidos o quebrados, que son sumamente nutritivos (Morales, 2015).

Es una buena fuente de almidón, aunque su contenido proteico sea bajo, Contiene vitamina B y amino ácidos esenciales como la lisina.

#### **8.5.2. Condiciones de clima y suelo aptas para el cultivo**

- Precipitación: 600 a 1200 mm. repartidas durante el ciclo del cultivo
- Luz: 1000 a 1500 horas durante el ciclo del cultivo (4 meses).
- Altitud: 2200 a 2800 m
- Temperatura: 10-20 °C y máximas de 30-32 °C
- Suelos de preferencia francos, sueltos (no muy arenosos) ni compacto y ricos en M.O.
- pH: 5,6 – 7.5

## **8.6. LA PAPA (*Solanum tuberosum* L.)**

### **8.6.1. Características generales**

La papa es una especie dicotiledónea anual, aunque por la forma más común de reproducción, por tubérculos, se comporta como una especie perenne.

Es un cultivo competitivo en la dieta alimenticia con el trigo y arroz, ya que su uso se destina principalmente a la alimentación humana.

Sin embargo, en los últimos tiempos el consumo como alimento procesado ha sido de gran importancia; como papas pre fritas congeladas y las papas fritas en forma de hojuelas. Otros productos industriales también de importancia, son el puré deshidratado y la harina.

Valor nutricional en 100 gramos: la papa contiene tres partes de agua y una cuarta parte de sólidos (glúcidos 19%, proteínas 2%, lípidos 0.1% y cenizas 1%), por lo que es un alimento relativamente equilibrado, aunque deficiente en calcio y fibra. Su contenido de agua está entre 75 a 78 % agua; de almidón 18,5 g, y es rico en Potasio (560mg). Posee vitamina C (20 mg).

Las papas se distinguen, por su color son blancas y de color; por el uso son amargas, amarillas e industriales. Por su origen se cuenta con variedades nativas y mejoradas.

### **8.6.2. Condiciones de clima y suelo aptas para el cultivo**

- Precipitación: 700 - 1000 mm.
- Altitud: 2600- 3500 m. Temperatura: 13-18 °C.
- Suelos profundos con buen drenaje, ricos en humus y de preferencia franco arenosos.
- pH: 5.5 – 6 hasta 8.
- En general las condiciones agroclimáticas óptimas para la papa son: precipitación 1000 mm; más de 3000 msnm y temperatura de 13-18 °C.

## **8.7. NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS CULTIVOS**

Se determina mediante:

### **8.7.1. ETc – COEFICIENTE ÚNICO DEL CULTIVO (Kc)**

Para (FAO, 2006) el, cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ETc) bajo condiciones estándar. Se considera que no existen limitaciones en el desarrollo del cultivo debido a estrés hídrico o salino, densidad del cultivo, plagas y enfermedades, presencia de malezas o baja fertilidad. El valor de ETc es calculado a través del enfoque del coeficiente del cultivo, donde los efectos de las condiciones del tiempo atmosférico son incorporados en ETo y las características del cultivo son incorporadas en el coeficiente Kc:

2

$$ETc = Kc ETo$$

Los efectos combinados de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo se integran en un coeficiente único del cultivo. El coeficiente único Kc incorpora las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo. Para la planificación normal del riego y propósitos de manejo, para la definición de calendarios básicos de riego y para la mayoría de los estudios de balance hídrico, los coeficientes promedios del cultivo son apropiados y más convenientes que los valores de Kc calculados con base diaria usando coeficientes separados de cultivo y suelo (FAO, 2006).

#### **8.7.1.1. COEFICIENTES DEL CULTIVO**

Durante el período de crecimiento del cultivo, la variación del coeficiente del cultivo Kc expresa los cambios en la vegetación y en el grado de cobertura del suelo. Esta variación del coeficiente Kc a lo largo del crecimiento del cultivo está representada por la curva del coeficiente del cultivo. Para describir y construir la curva del coeficiente del cultivo se necesitan solamente tres valores de Kc: los correspondientes a la etapa inicial (Kc ini), la etapa de mediados de temporada (Kc med) y la etapa final (Kc fin).

### **8.7.1.2. VALORES TABULADOS DE Kc**

Para (FAO, 2006), los coeficientes presentados integran los efectos de la transpiración y la evaporación en el tiempo. El efecto de esta integración en el tiempo representa una frecuencia de humedecimiento promedio para un cultivo estándar bajo condiciones típicas de desarrollo bajo riego. Los valores de Kc durante la etapa inicial y de desarrollo del cultivo dependerán de la gran diversidad de frecuencias de humedecimiento del suelo, por lo que se requerirá de ajustes al valor de Kc ini considerado. Para condiciones de humedecimiento frecuente tal como en los casos de riego por aspersión de alta frecuencia o lluvias, los valores de Kc ini pudieran ser incrementados sustancialmente.

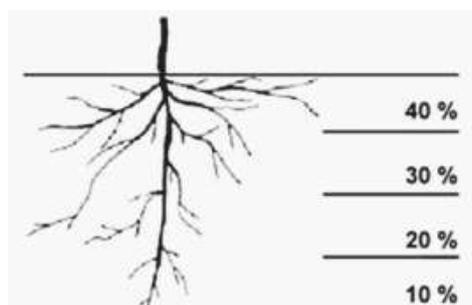
Los valores de Kc presentados en el Anexo N° 21 son valores correspondientes a cultivos no estresados por falta de agua, cultivados bajo excelentes condiciones agronómicas y de manejo del agua y que alcanzan su máxima productividad (condiciones estándar). En los casos donde la densidad entre las plantas, altura o área foliar sean menores a las obtenidas bajo tales condiciones, el valor de Kc med y, para la mayoría de cultivos, el valor de Kc fin necesitarán de correcciones adicionales (FAO, 2006).

### **8.8. PROFUNDIDAD RADICULAR.**

(Baroja, 2017) Afirma que el agua que toma la planta desde el suelo lo hace a través de las raíces y entonces mientras más profundo sea el suelo más raíces tiene la planta y puede tomar con mayor facilidad el agua que necesite.

El agua que toma la planta varía conforme va creciendo, cuando es semilla es poca el agua que necesita, luego en el desarrollo es más y cuando llega la floración y el fructificación es mucho más, luego de estar con frutos ya desarrollados comienza a necesitar menos agua hasta cuando llega la cosecha. Igual el tamaño de las raíces va creciendo y su forma de distribución se asemeja a un cono o triángulo dado la vuelta en donde el 40% del total de las raíces está en la primera cuarta parte de la profundidad total; el 30% en la segunda cuarta parte, el 20% en la tercera cuarta parte y el 10% restante en la parte más profunda (Baroja, 2017).

**Cuadro N° 2.- Porcentajes de absorción del agua en las raíces.**



**TOMADA DE:** (Baroja, 2017)

El siguiente cuadro nos da los valores de la profundidad efectiva de las raíces de algunos cultivos en pleno desarrollo.

**Cuadro N° 3.- Profundidad de las raíces.**

Cultivo	Profundidad efectiva (cm)	Cultivo	Profundidad efectiva (cm)
Banana	50 - 90	Repollo	40 - 50
Melón	100 - 150	Pepino	70 - 120
Cítricos	120 - 150	Otras hortalizas	30 - 60
Olivo	100 - 150	Frijol	50 - 90
Vid	75 - 180	Otras leguminosas	50 - 125
Otros frutales	100 - 200	Maíz	75 - 160
Fresa	20 - 30	Cereales	60 - 150
Cebolla	30 - 75	Alfalfa	90 - 180
Pimiento, tomate	40 - 100	Otros pastos	60 - 100
Piña	30 - 60	Palma	70 - 110
Chile	50 - 100	Papa	40 - 60
Sorgo	100 - 200	Camote	100 - 150

**TOMADA DE:** (Alocén, 2007)

**8.9. Contenido de agua útil**

Parte de la reserva útil que se permitirá consumir a la planta toma el nombre “factor de agotamiento del cultivo” que viene a ser un límite que se pone a la planta en la absorción del agua. Es decir que cuando el nivel del agua en el suelo está a capacidad de

campo y la planta comienza a consumirla se le permite que absorba solo hasta que llegue al factor de agotamiento establecido y ese es el momento que debemos regar poniendo al suelo la cantidad de agua necesaria hasta volver a estar a capacidad de campo. En ningún caso conviene que la planta consuma agua hasta que el nivel llegue a punto de marchitez (Baroja, 2017).

#### **Cuadro N° 4.- Propiedades físicas de los suelos**

Textura del suelo	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Capacidad de campo (% θ g)	Punto de marchitez permanente (% θ g)	Infiltración básica (mm/h)
Arenoso	1.65 (1.55 – 1.90)	9 (6 – 12)	4 (2 – 6)	50 (25 – 250)
Franco arenoso	1.50 (1.40 – 1.60)	14 (10 – 18)	6 (4 – 8)	25 (13 – 75)
Franco	1.40 (1.35 – 1.50)	22 (18 – 26)	10 (8 – 12)	13 (8 – 20)
Franco arcilloso	1.35 (1.30 – 1.40)	27 (23 – 31)	13 (11 – 15)	8 (2.5 – 15)
Arcilloso	1.25 (1.20 – 1.30)	35 (31 – 39)	17 (15 – 19)	5 (1.3 – 10)

**TOMADA DE:** (Alocén, 2007)

Para (Baroja, 2017), el contenido de agua que el suelo es capaz de retener entre los límites conocidos como “capacidad de campo” y “punto de marchitez”. Esa cantidad de agua que tiene el suelo es el agua útil para la planta. A medida que el contenido de agua se acerca al punto de marchitez, la planta tiene mayor dificultad en extraerle, por lo que conviene únicamente dejarle absorber solo una parte del agua útil antes de volver a regar.

#### **8.10. MÉTODO USDA SOIL CONSERVATION SERVICE**

En su artículo (Francisco-Nicolás et al., 2010), menciona que en países en desarrollo, una herramienta útil es la aplicación de modelos empíricos, como el método de curvas numéricas desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS–CN) de los Estados Unidos (Soil Conservation Service, 1972). Este método aplicable a pequeñas cuencas agrícolas, previa estimación de la retención máxima potencial de agua del suelo

y la precipitación, permite estimar el escurrimiento con precisión aceptable (Sánchez *et al.*, 2003).

Se adoptó este método, entre los que se consultaron en la bibliografía, debido a que es el que realiza la mayor cantidad de discriminaciones entre los factores que son fuente de variación en las determinaciones de precipitación efectiva, de esta forma los datos obtenidos se ajustan más a los reales. Por otra parte, con este método se puede calcular la precipitación efectiva con los datos de un hietograma (diagrama de barras que representa las variaciones de altura de precipitación pluvial - por ejemplo en milímetros (mm) - o de su intensidad - en milímetros por hora (mm/h) - en intervalos de tiempo previamente seleccionados. Permite cuantificar la lluvia de un lugar según su duración.) registrados por hora o día por día.

**Para el cálculo de la  $E_d$  se utiliza la siguiente ecuación:**

3

$$E_d = \frac{(P - P_0)^2}{P + 4P_0}$$

**Donde**

$E_d$ : Escorrentía directa en mm.

$P$ : Precipitación total registrada en mm.

$P_0$ : Abstracción inicial o umbral de escorrentía en mm (**Anexo N°23**).

**Calculo precipitación efectiva ( $P_E$ ) utilizando la ecuación Siguiete:**

4

$$P_E = P - E_d$$

**Donde**

$P_E$ : Precipitación Efectiva en mm.

$P$ : Precipitación registrada en mm.

$E_d$ : Escorrentía directa en mm.

### 8.11. MÉTODO DE OUDIN

Para (GARCIA, 2017) la formulación simple de evapotranspiración potencial (ETP), basado en la temperatura sugerida por (Oudin et al., 2005). Basado en un estudio de desempeño de más de 25 formulaciones de ETP existentes cuando se utiliza como entrada para cuatro modelos hidrológicos diferentes para más de 300 cuencas ubicadas en Australia, Francia y Estados Unidos, es dada por:

5

$$PE = \left( \frac{R_e}{\lambda \rho \omega} \right) \left( \frac{T_a}{100} \right)$$

Si  $T_a + 5 > 0$

6

$$PE = 0$$

#### Donde

$R_e$ : es la radiación extraterrestre (J/m<sup>2</sup>/s) que es dependiente solamente de la latitud y el día juliano ver **Anexo N° 22**.

$\lambda$ : es el flujo de calor latente (tomar como 2.45x10<sup>6</sup> J/kg).

$\rho w$ : es la densidad de agua (tomar como 1000 kg/m<sup>3</sup>).

$T_a$ : es la temperatura media diaria del aire (°C).

### 8.12. FORMULAS PARA REQUERIMIENTOS HÍDRICOS

#### 8.12.1 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO (ET<sub>c</sub>)

La evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando E<sub>T0</sub> por K<sub>c</sub> el cual es un coeficiente que expresa la diferencia entre la evapotranspiración de la superficie cultivada y la superficie del pasto de referencia. Esta diferencia puede ser combinada dentro de un coeficiente único o integrado del cultivo, o puede ser separada en dos factores que describen por separado las diferencias en evaporación y transpiración entre las dos superficies. La selección del procedimiento a seguir dependerá del propósito del

cálculo, la precisión requerida, la disponibilidad de datos climáticos y la escala temporal bajo la cual se realizan los cálculos (FAO, 2006).

La cual se calcula de la Siguiete manera:

7

$$ETc = Kc * ETo$$

En donde:

***E<sub>Tc</sub>***: Evapotranspiración del cultivo de referencia [mm día-1]

***K<sub>c</sub>***: Coeficiente único del cultivo

***E<sub>To</sub>***: Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar [mm día-1]

### 8.12.2. CAPACIDAD DEL RESERVORÍO (*C<sub>r</sub>*)

“La Capacidad de Uso de los suelos es una clasificación técnica interpretativa basada en los efectos combinados del clima y las características permanentes del suelo, y que tiene por objeto agrupar a los suelos existentes en Clases de Capacidad de Uso, para señalar su relativa adaptabilidad a ciertos cultivos propios de una zona, además de indicar las dificultades y riesgos que se pueden presentar al usarlos” (P, 2005).

“La clasificación está basada también en la capacidad de la tierra para producir, señalando las limitaciones naturales de ella. La clasificación de suelos por Clase de Capacidad de Uso, es indispensable para mostrar y localizar en forma simple y resumida sus potencialidades y limitaciones para el uso agrícola, ganadero y forestal, tanto en condiciones de riego como de secano” (P, 2005).

La cual se calcula de la Siguiete manera:

8

$$Cr = \left( \frac{CC - PMP}{100} \right) Da * Z$$

En donde:

***C<sub>r</sub>***: Capacidad de reservo Ríó (mm)

***CC***: Capacidad de campo

***PMP***: Punto de marchitez permanente

***Da***: Densidad aparente ( $g/m^3$ )

**Z:** Profundidad radicular (mm)

### 8.12.3. LÁMINA DE AGUA APROVECHABLE ( $La$ )

La lámina de agua aprovechable ( $La$ ) expresa la lámina de agua que un suelo puede almacenar entre los límites de capacidad de campo y un punto de marchitez permanente a la profundidad radical efectiva del cultivo (Burbano, Puentes, & Guerrero, 1999).

9

$$La = Cr * Ur$$

En donde:

**La:** Lámina de agua aprovechable (mm)

**Cr:** Capacidad de reserva Ríó (mm)

**Ur:** Frecuencia de riego

### 8.12.4. DOSIS NETA EN LA LÁMINA NETA ( $Dn$ ).

La lamina neta ( $Dn$ ), es la cantidad de agua rápidamente aprovechable teniendo en cuenta el nivel de reposición o porcentaje de agotamiento del agua aprovechable.

10

$$Dn = ETc - Pe$$

En donde:

**Dn:** Dosis neta o lamina neta (mm/mes)

**ETc:** Evapotranspiración del cultivo (mm/mes)

**Pe:** Precipitación efectiva (mm)

### 8.12.5. NUMERO DE RIEGOS AL MES ( $Nr$ mes)

Los números de riegos ( $Nr$ ), es la frecuencia con la que se proporciona agua a los cultivos para que estos posean su desarrollo óptimo.

11

$$Nr = \left( \frac{Dn}{La} \right)$$

En donde:

**Nr:** Numero de riegos al mes (riegos/mes)

**Dn:** Dosis neta (mm/mes)

**La:** Lámina de agua aprovechable (mm)

#### 8.12.6. DOSIS BRUTA O LAMINA BRUTA (Db)

Para (Mario, 2009), la lámina bruta de aplicación de agua (Lb) es igual a la lámina neta de aplicación de agua dividida entre la eficiencia de riego del sitio. Es importante anotar que la eficiencia de riego del lugar incluye perdidas posibles de agua debido a fisuras o daños en los tubos.

La ecuación que determina la Lamina Bruta es la Siguiete:

12

$$Db = \left( \frac{Dn}{Er} \right)$$

En donde:

**Db:** Dosis bruta o lamina bruta ( $\frac{m^3}{ha}/mes$ )

**Dn:** Dosis neta (mm)

**Er:** Eficiencia del riego (%)

Para determinar la eficiencia de riego se posee la Siguiete tabla.

**Tabla N° 9.- Sistemas de riego y sus porcentajes de eficiencia**

Riego por surco	Riego por aspersión	Riego por goteo
30-70%	80-85%	>90%
(0.30 – 0.70)	(0.80 – 0.85)	(>0.90)

**TOMADO DE:** (Baroja, 2017)

Los cálculos se van ajustando al criterio de un técnico agrónomo y el caudal concesionado es dado por SENAGUA.

## **8.13. MODELACIÓN DEL EMBALSE**

### **8.13.1. EMBALSE**

Para (Carpóforo Olivares, 2012), desde el punto de vista de riego, hemos definido embalse como un lago artificial construido para almacenar agua durante la estación lluviosa y para distribuirla durante la estación seca. Nuestras lluvias, salvo contadas áreas, están concentradas durante un período de cinco o seis meses, que llamamos invierno, siendo muy escasa o nulas durante el resto del año: entonces esa mala distribución del agua de lluvia nos obliga a almacenarla mediante la construcción de embalses. Los embalses pueden almacenar agua y tiene muchos usos no menos importantes como son:

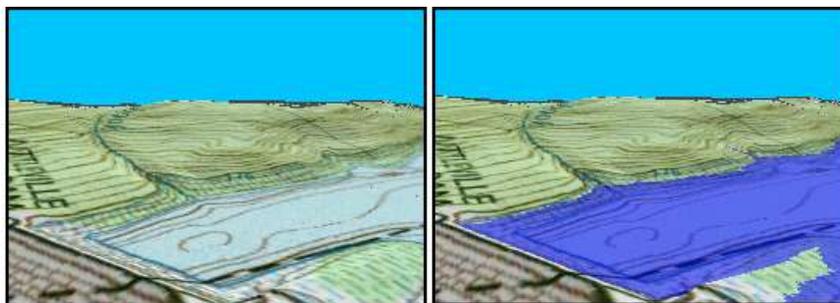
- En Riego; usos domésticos e industriales, obteniéndose como beneficio; Incremento de la producción agropecuaria. Suministro de agua para uso de las poblaciones y de las industrias.
- En control de inundaciones; Prevención de daños causados por desbordamiento durante la creciente, en defensa de las poblaciones y áreas cultivadas o industriales.
- Control de sedimentos; pequeños embalses para control de sedimentos a otros embalses o a corrientes de agua. Control de erosión.

### **8.13.2. REALIZACIÓN DE UN EMBALSE MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL ARCMAP 10.3.**

Según (ESRI, 2016), algunas herramientas se utilizan para calcular volúmenes a partir de información de superficie. Estas herramientas calculan la diferencia de volumen entre un ráster o superficie TIN y otra superficie. Dependiendo de la herramienta, la otra superficie podría quedar especificada por un plano horizontal a una elevación determinada o por un segundo ráster o superficie TIN.

A continuación, se muestra un ejemplo de una superficie de terreno que representa el nivel de relleno habitual de un embalse. Las herramientas de volumen se pueden utilizar para calcular el volumen de agua adicional cuando el embalse esté cerca de alcanzar su capacidad.

#### **Cuadro N° 5.- Modelo de creación de embalses en ArcGIS**



*Tomado de:* (ESRI, 2016)

Para (ESRI, 2016), la herramienta Volumen de superficie se utiliza para calcular el volumen de una superficie por encima o por debajo de un plano horizontal a una elevación determinada. Esta herramienta se puede utilizar para calcular el volumen de agua en una sección del canal del río durante una etapa de crecida determinada. Esta herramienta puede utilizarse en superficies ráster o TIN. La salida de la herramienta es un archivo de texto que informa de los parámetros utilizados y el área y volúmenes de superficie resultantes.

Para (ESRI, 2016), la herramienta Cortar/Rellenar se utiliza para calcular la diferencia existente en cada celda antes y después del ráster de la misma área. Esta herramienta se puede utilizar para calcular el volumen de tierra que ha de agregarse o suprimirse de una obra para redefinir una superficie. Esta herramienta funciona sobre dos rásteres, y los resultados se presentan en forma de ráster, el cual representa la diferencia entre las dos capas.

Para (ESRI, 2016), la herramienta Volumen de polígono TIN calcula la diferencia de volumen y el área de superficie de cada polígono en una clase de entidad relativa a una superficie TIN. Todos los polígonos de la clase de entidad representan un área horizontal a una elevación definida en el campo de altura. El volumen por encima o por

debajo de esta área plana respecto de la superficie TIN se agrega a un campo de volumen en la clase de entidad, y el área de superficie del polígono se agrega a un campo de área de superficie.

## **9.-METODOLOGÍA:**

**9.1. Tipo de investigación** La investigación se llevó a cabo para realizar la distribución adecuada del recurso hídrico de los principales cultivos de la zona mediante la delimitación de la microcuenca perteneciente a la parroquia de Alaquez, cálculos de requerimientos de los cultivos y modelamiento del embalse, mediante el uso del método de Otto Pfafstetter, el cual determina el curso de agua principal de la cuenca a codificarse para la determinación de redes hidrológicas y posteriormente cuencas.

El método de Oudin el cual consiste en la determinación de la evapotranspiración de los diferentes cultivos para generar datos que ayuden a la aportación adecuada de agua para el desarrollo óptimo de los cultivos.

### **9.1.1. Descriptiva**

Es una descripción lo más posible completa del mal uso del agua, sin buscar ni causas ni consecuencias de éste. Midiendo las características y observaciones de los procesos que componen el desabastecimiento.

### **9.1.2. Cualitativa**

La presente investigación será de carácter cualitativa la cual se basa en la obtención de datos, basados en la observación para posterior análisis, haciendo que la explicación acerca de las necesidades hídricas sea más completas.

### **9.1.3. No experimental**

No constara de la manipulación de variables en condiciones altamente controladas, no se replica algún fenómeno concreto ni se observa cambios en variables aplicadas po este motivo no se establece hipótesis.

## **9.2. Modalidad básica de investigación**

### **9.2.1 Bibliográfica documental**

La investigación se fundamentó con revisión bibliográfica documental donde se selección y analizo los mejores métodos, para presentar resultados coherentes del proyecto de investigación.

### **9.2.2. De Campo**

Para la investigación se realizó un recorrido por la microcuenca del Río Alaquez, desde donde nace hasta en punto donde se une para formar el Río Cutuchi.

## **9.3. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

### **9.3.1 Observación de campo**

Esta técnica permite tener contacto directo con el objeto en estudio para la recopilación de datos de las ubicaciones con GPS y observaciones.

### **9.3.2. Registro de datos**

Se lo llevó a cabo a través de una tabla en Excel en el cual guardamos los datos obtenidos en campo y a su vez en el cual ingresamos los datos de temperatura, precipitación y evapotranspiración.

## **9.4. DESARROLLO METODOLÓGICO**

### **9.4.1. DELIMITACIÓN DE LA MICROCUENCA**

#### **9.4.1.1. OBTENCIÓN DE IMÁGENES RASTER (ADVANCED SPACEBORNE THERMAL EMISSION AND REFLECTION RADIOMETER)**

Para obtener imágenes satelitales existen diversos sitios web que nos dan acceso a estos el más utilizado para ello es <http://earthexplorer.usgs.gov/>, el cual nos da de todo el mundo para poder descargar de este sitio debemos ubicar el lugar de donde se quiere obtener la imagen áster en este caso de la provincia de Cotopaxi el mismo que nos da 4 diferentes imágenes divididas por cuadrantes una vez descargadas damos el procesamiento por ArcGIS.

Los datos altimétricos de 30 metros de resolución espacial correspondiente al MDE del área de estudio, están disponibles para la descarga desde la página <http://earthexplorer.usgs.gov/>. En el visor se especifican las coordenadas de localización de la unidad hidrográfica de la microcuenca del Río Alaquez.

El pre procesamiento consiste en la eliminación de imperfecciones de fuente de origen presentes en el áster, dentro de los cuales se encuentran las zonas sin datos o vacías “No Data”, que según Olaya (2011) deben corregirse aplicando métodos de interpolación (Fill). Otro factor que afecta la calidad de los datos SRTM, es la presencia de picos y sumideros, que de acuerdo a Medeiros et al. (2009), las imperfecciones presentes en el modelo de datos ocasionan errores en el mapa de la dirección de flujo.

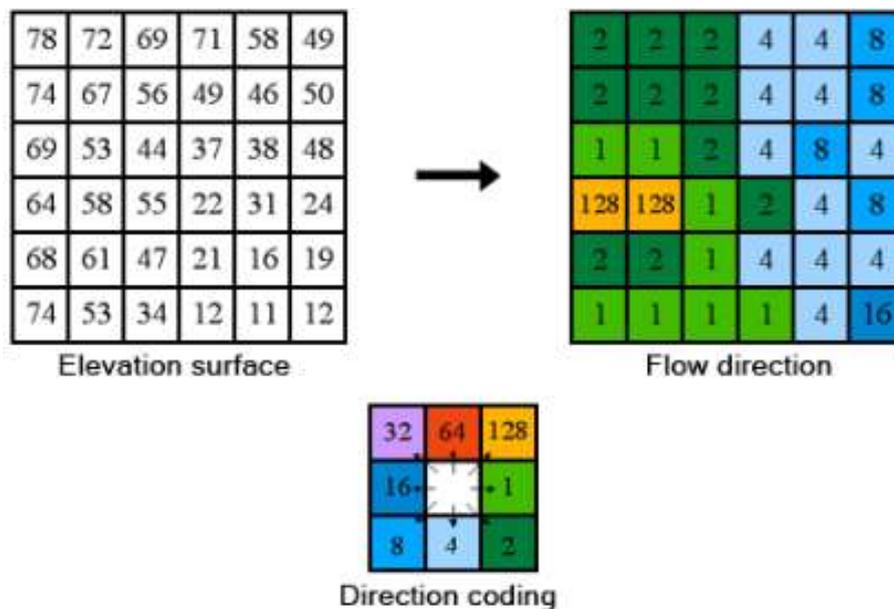
Una de las formas de corregir los picos y sumideros es a través del recurso **ArcToolbox>Spatial Analyst Tools>Hydrology>Fill.**

### 9.4.1.2. DIRECCIÓN DE FLUJO

En esta etapa se obtiene un raster con las orientaciones de flujo de cada celda vecina, calculadas en función a las pendientes. Walchholz et al. (2013), menciona que las direcciones de flujo expresan las relaciones hidrológicas entre diferentes puntos de una cuenca hidrográfica.

Para (Jenson, 1998). Existen 8 direcciones de salida válidas íntimamente relacionadas con las 8 celdas adyacentes hacia donde puede fluir el agua. Este enfoque se conoce como modelo de flujo de 8 direcciones (D8), el cual, queda representado en la Figura N°2.

**Cuadro N° 6.- Codificación de la dirección de flujo**



*Tomada de:* (Alonso, 2016)

La dirección de flujo está determinada por la dirección del descenso más empinado, o caída máxima, desde cada celda.

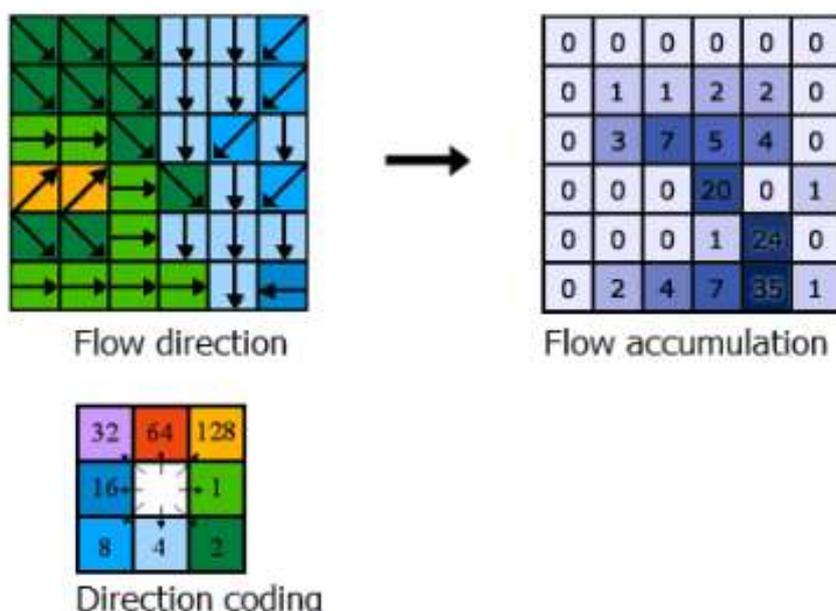
Mediante su análisis se puede determinar la dirección de un descenso más empinado, cuando lo reconoce, la celda de salida se codifica con el valor que representa esa dirección.

Para la generación de la dirección de flujo mediante el uso del ArcGIS se da de la siguiente manera: **ArcToolbox>Spatial Analyst>Hydrology>Flow Direction.**

### 9.4.1.3. ACUMULACIÓN DE FLUJO

Según (Alonso, 2016). La herramienta Flow Accumulation calcula la cantidad de agua que fluye dentro de cada celda desde todas las celdas de pendiente descendente en el raster de salida. A menos que se indique el raster de ponderación, se aplicará un peso de 1 a cada celda, y el valor final será el número de celdas que fluyen hacia cada una de ellas.

**Cuadro N° 7.- Determinación de la acumulación de flujo**



*Tomada de:* (Alonso, 2016)

Para (Jenson, 1998). Las celdas con una acumulación de flujo alta son áreas de flujo concentrado y pueden ser útiles para identificar canales de arroyos. Esto se analiza en Identificación de redes de arroyos. Las celdas con una acumulación de flujo de 0 son alturas topográficas locales y se pueden utilizar para identificar crestas

Para la generación de acumulación de flujo y cálculo del umbral mediante el uso del ArcGIS se da de la Siguiete manera: **ArcToolbox>Spatial Analyst>Hydrology>Flow Accumulation.**

Una vez hemos determinado las direcciones de flujo mediante Flow Direction podremos deducir mediante esta función en que zonas del terreno se acumula más agua.

#### 9.4.1.4. CÁLCULO DEL UMBRAL

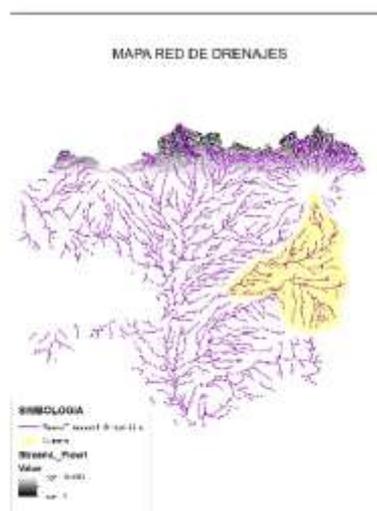
Para (Castillo, 2015), el proceso requiere del raster de acumulación de flujo y la cantidad mínima de celdas que forman el curso de agua, las cuales corresponden al valor del umbral. De acuerdo (Castillo, 2015), se obtiene mediante un procedimiento repetitivo de ensayo y error, con el cual se determina el umbral de acumulación que permite identificar el afluente principal y cuatro aportantes. Con los resultados se determinan las 4 unidades de drenaje tipo cuenca y 5 de tipo Inter cuenca, correspondiéndoles a las primeras las mayores áreas de drenaje y acumulación de flujo según el método Pfafstetter.

En ArcGIS el proceso se realiza desde ventana **Layer>Properties>Symbology>Classified>Classify**, donde se especifica la clasificación en dos rangos o clases aplicando el método Natural Breaks Jenks; el primero va de 1 a N valor calculado por la herramienta, mientras que el segundo del N valor al número máximo que alcanza la acumulación de flujo. El valor N es con el cual se realizan los ensayos a través de la opción **Classify>Break Value**.

#### 9.4.1.5. RED DE DRENAJES

La generación de la red de drenajes es fundamental para la determinación de las cuencas hidrográficas, el insumo principal en esta etapa es la reclasificación de la acumulación del rango cuyo valor asignado fue 1 en la anterior fase.

**Mapa N° 3.- Red de drenajes de la microcuenca**



*Elaborado por:* (Llasha, 2019)

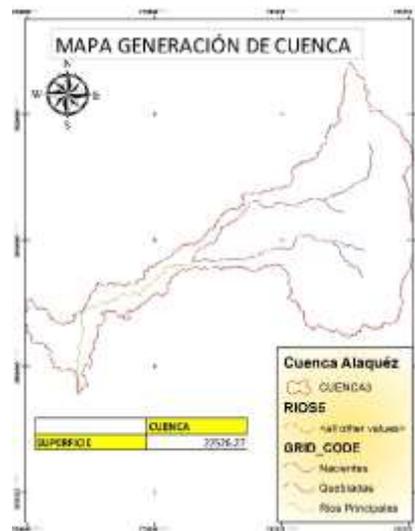
El procedimiento se realiza desde la caja de herramientas **ArcToolbox>Spatial Analyst Tools>Hydrology>Stream Link**.

“Según criterio de Johnson (2008), Stream Link asigna valores únicos a las secciones de una red de drenajes entre las intersecciones, que para la UICN (2009b), los enlaces o links son los segmentos de una red de drenajes que conectan a dos aportantes de forma sucesiva” (Castillo, 2015).

#### 9.4.1.6. GENERACIÓN DE CUENCAS

“Según Alves et al. (2010), el proceso para la generación de las áreas de drenaje requiere del mapa de dirección y acumulación de flujo y se lo realiza mediante la herramienta **ArcToolbox>Spatial Analyst Tools>Hydrology>Watershed**” (Castillo, 2015).

**Mapa N° 4.- Generación de cuencas**



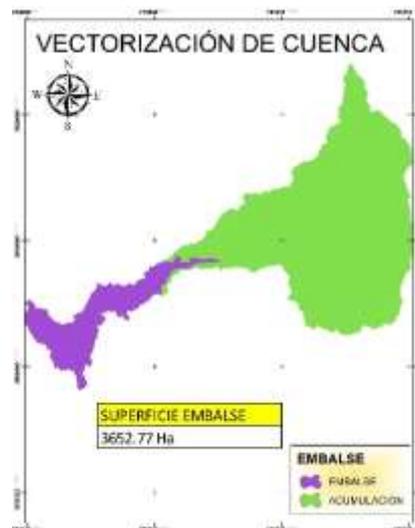
*Elaborado por:* (Llasha, 2019)

#### 9.4.1.7. VECTORIZACIÓN Y CODIFICACIÓN

La vectorización consiste en convertir las cuencas de formato raster a vector. Es la etapa final de la metodología y arroja como resultado el archivo shapefile con los polígonos de las unidades hidrográficas delimitadas. De acuerdo a lo establecido por la UICN (2009b) en el manual de procedimientos de delimitación y codificación de unidades

hidrográficas para el Ecuador, la vectorización de las cuencas se logra a través de la siguiente herramienta **ArcToolbox>Conversion Tools>From Raster>Raster To Polygon.**

**Mapa N° 5.- Mapa vectorización de las cuencas**



*Elaborado por:* (Llasha, 2019)

“La codificación de cuencas hidrográficas basadas en el método Pfafstetter (1989), es jerárquica y utiliza 10 dígitos relacionados directamente con el área de drenaje y cursos de agua. Según Galvão & Meneses (2005), los códigos pares 2, 4, 6 y 8 se asignan a las cuatro cuencas principales a las cuales corresponden las mayores áreas de drenaje, mientras que las Inter cuencas identifican a las cinco unidades de drenaje de menor tamaño y reciben los dígitos 1, 3, 5, 7 y 9. La Secretaría del Ambiente (2011), corrobora lo manifestado por los autores anteriormente, pero además manifiesta que en caso de existir Inter cuencas, éstas se codifican con el dígito 0” (Castillo, 2015).

## **9.5. CALCULO REQUERIMIENTOS HÍDRICOS**

Llenado de datos faltantes de las estaciones Pluviométrica de Saquisilí (M0375) y Agro meteorológica de Rumipamba-Salcedo (M0004).

La sección de las estaciones meteorológicas se dio por un área de 20 Kilómetros a la redonda del punto de aforo seleccionando estaciones más cercanas al sitio, con una diferencia de 100msnm del punto de aforo.

Al determinar dichas estaciones se les da un conteo de espacios faltantes los cuales deben ser menores del 10% para su llenado por el método elegido para su llenado mediante completar por promedios.

**Tabla N° 10. -Datos incompletos de precipitación de la Estación Pluviométrica Saquisili (M0375), instalada por INHAMI en la Provincia de Cotopaxi en el Cantón Pujilí perteneciente a la Cuenca del Río Amazonas, con registro activo de datos desde 1979 hasta el 2015.**

PRECIPITACIÓN (mm)												
SAQUISILI												M0375
AÑO	MESES											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1979												13,3
1980	87,7	96,1	22,8	78,6	10,6	6,2	9,4	18,5	48,3	84,1	130	71,9
1981	32,7	89,6	134,1	111,8	58,8	39	23,7	45,2	17,4	64,4	48,3	66,5
1982	103,9	131,6	58,5	100	119,9	0	16	12,7	25,8	64,1	83,4	141,9
1983	69,5	29,6	78	104,7	104,5	8	5,2	6,5	18,4	41,7	38,9	61,3
1984	27	106	114,1	112,3	81,6	18,2	11,8	16,9	75,5		57,4	53,2
1985	27,8	1,7	4,9		44,5	13,3	11	36,2	27,6	40,4	3,2	33,9
1986	14,8	128	127,6	94,9	28,3	20,1	2,4	19	11,1	108,6	50,8	28,3
1987	56,9	24,7	34,7	51,3	30,1	5,5		4,4	32	25,3	18,6	7,1
1988	28,3	44,8	9,9	129,1	69,7	24,4	15,9	19,5	53,2	327,5	77,6	60,3
1989	78,7	91,4	100,9		56,5	66,6	10,3	7,4	52,3	52,5	10,2	18,5
1990	40,5	35,5	45,5	70	23,2	26,8	7,8	4,2	17,5	113,7	28,7	75,9
1991	30,5	22,6	115,7	33,8	82,8	35,8	29,8	8,9	87	290,3	406	320,4
1992						10	43,2	22,5	40	30		
1993	54,6	76,2	156,7	137,1	77,4	12,2	66,5	8	87,2	75,9	51,3	135,1
1994	82	123,2	119,6	52	50	41	12	28,2	31	20	76	124
1995	25	64	55	127	104,3	28,3	106,7	33	14	67	136	87,4
1996	164	162,3	134	153,5	188,6	89	51	17	13	108	25	28,1
1997	115,8	82	94				63	30	99	76	229,3	68

1998	112	124,3	104		66	106	66	92	62	94		61
1999	63,7	102,6	102,7	86	89,8	80,6	40,8	48,2	181,9	55	68,1	149,7
2000	60,8	149,2	121,8	209,9	258,1	156,4	48,7	65,3	147,8	36	37,9	75,1
2001	106,5	51,8	107,2	116,2	96,1	94,1	19,8	31,5	63,5	5,6	57,5	94,8
2002	81,1	107	167,5	134,2	75,6	46,1	40,8	13,7	15	92,9	102	90,7
2003	69,6	93,3	61,2	100,9	74,5	88,2	15	7,8	22,9	80,9	108,1	69,2
2004	43,4	50	58,3	97,7		28,1	60,5	38,2	59,5	80,9	108,6	103,5
2005	45,8	66,6	185,6	96,9	56,1	84,8	32	60,9	23,1	71,5	50,2	99,5
2006	107,1	146,4	142,3	118,1	75,9	74,9	15,3	29,2	27,6	50	155,3	93,6
2007	53,3	33,4	142,4	119,8	109,5	74,4	47,6	48	21,9	75,1	109,2	118,4
2008	105,5	130,2	141	105,1	105,1	79,4	23	51,8	27,1	64	81	49,9
2009	83,7	27,4	25,5	49,6	58,5	51,1	18,2	3	11,3	54,5	57	7,9
2010	31	47,1	44	60	48	84,5	60	7	20		56,4	131
2011	85,2	76,5	41,2	13,2	3,6	21,9	22,8	2,2	14	4,8	64,5	13,9
2012	10,2	130,5	65,4		7,2	8,6	5,7	2,7		101,1	47,7	20,8
2013	13,1	83,2	56,9	21,5	56,9					74,3	19,2	20,6
2014	93	21,2	57,8	66,2	61,5	18,5	5,6	10,9	36,4	77,3	57,5	32,4
2015	59,2	44	98,9	29	46,9	9,8	28,1	1,8	0	43,1		
<b>PROMEDIO</b>	<b>64,7</b>	<b>79,8</b>	<b>89,4</b>	<b>92,7</b>	<b>73,3</b>	<b>45,6</b>	<b>30,5</b>	<b>24,4</b>	<b>43,7</b>	<b>78,0</b>	<b>80,3</b>	<b>75,1</b>

*Elaborado por:* (Llasha 2020).

**Tabla N° 11 Porcentaje de espacios blancos de los datos de la Estación Pluviométrica Saquisili (M0375).**

BLANCOS	37	9	%
TOTAL	407	100	%

*Elaborado por:* (Llasha 2020).

**Tabla N° 12 Datos incompletos de temperatura de la Estación Agro meteorológica Rumipamba - Salcedo (M0004), instalada por INHAMI en la Provincia de Cotopaxi en el Cantón Salcedo en la parroquia San Miguel perteneciente a la Cuenca del Río Amazonas, con registro activo de datos desde 1976 hasta el 2015.**

TEMPERATURA EN °C												
RUMIPAMBA-SALCEDO												M0004
AÑO	MESES											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1976					13,72	12,81	12,16	12,15	13,75	14,85	14,38	14,94
1977	15,01	14,01	14,45	14,47	14,07	13,49	13,51	13,42	13,89	15,37	15,59	15,41
1978	15,06	15,43	15,08	14,72	14,57	13,23	13,13	12,51	13,97	15,38	15,89	15,64
1979	15,18	14,98	14,85	14,55	14,19	13,66	13,16	13,83	14,22	15,46	15,75	15,44
1980	15,67	15,41	14,66	14,80	15,05	13,80	13,37	13,55	13,88	14,38	14,97	15,27
1981	15,38	14,81	15,01	15,14	14,14	14,19	12,49	13,60	13,50	14,87	15,49	15,30
1982	14,75	15,11	15,45	14,74	14,78	13,76	12,59	12,88	14,14	14,70	15,18	15,05
1983	16,01		15,51	14,88	13,96	13,86	13,41	13,43	13,38	14,55	15,34	14,21
1984	13,63	13,42	14,24	13,95	13,53	13,09	12,42	13,64		14,31	13,98	14,44
1985	14,99	13,53	14,89	14,49	14,31	13,13	11,71	12,62	13,55	14,78	14,56	14,53
1986	14,78	14,56	13,89	14,60	14,00	13,27	12,40	13,27	13,48	14,26	14,18	14,76
1987	14,62	14,60	15,06	14,46	14,14	13,97	13,65	13,45	14,26	14,76	15,29	14,73
1988	15,24	15,07	13,87	14,11	13,42	13,32	12,32	12,66	13,20	14,21	14,50	13,49
1989	13,66	13,48	13,73	14,04	13,96	12,57	12,06	12,92	13,48	13,87	15,30	15,26
1990	14,80	14,94	14,68	14,70	14,52	13,54	12,73	12,86	13,85	14,26	14,89	14,48
1991	14,69	14,76	15,16	14,20	14,14	14,38	12,94	11,79	13,73	13,78	14,61	15,34
1992	15,16	14,65	14,76	14,43	14,36	13,52	12,34	13,17	13,56	13,75	14,88	15,11
1993	14,30	14,51	13,60	14,32	14,34	13,84	13,13	13,04	14,16	14,22	15,36	15,17
1994	14,62	14,32	14,70	14,40	14,21	13,36	12,91	12,19	14,03	14,89	14,48	14,73
1995	14,66	15,36	15,22	15,04	14,26	14,40	13,63	13,72	13,69	14,74	14,79	14,24
1996	14,20	13,60	14,67	14,63	14,47	13,31	12,46	12,78	13,79	14,71	15,14	14,77
1997	14,42	14,31	15,17	14,40	14,60	14,54	12,62	12,97	14,15	15,27	14,86	15,06
1998	15,25	15,67	15,72	15,69	13,59	13,52	12,88	13,65	14,12	14,43	15,47	14,93

1999	14,71	13,86	14,36	13,94	13,58	13,35	12,58	12,78	13,24	13,66	15,18	14,52
2000	13,87	13,33	13,58	13,75	14,10	13,24	12,89	12,43	13,17	14,09	15,07	14,30
2001	13,60	14,20	13,90	14,15	14,45	13,15	13,12	12,53	13,58	15,43	14,97	15,40
2002	14,62	15,04	14,65	14,68	14,43	12,94	13,68	12,91	13,85	14,20	13,83	15,07
2003	14,95	14,78	14,58	14,65	14,19	13,43	13,35	13,78	14,19	15,18	14,68	14,37
2004	15,16	14,31	14,93	14,41	14,51	13,20	13,11	12,60	13,61	15,14	15,22	14,96
2005	14,93	15,28	14,31	14,68	14,02	13,84	13,28	13,45	13,91	14,75	14,84	14,12
2006	14,67	14,81	14,05	14,38	14,39	13,10	12,87	12,95	13,17	15,04	14,54	14,64
2007	14,67	14,40	14,23	14,29	13,72	12,92	13,24	12,80	12,52	14,32	14,41	14,11
2008	14,23	13,67	13,84	13,96	14,43	13,36	12,73	12,84	13,40	13,76	14,58	14,31
2009	14,01	14,18	15,04	14,50	15,05	13,62	13,28	13,82	13,79	15,05	15,50	15,41
2010	14,62	15,38	15,18	15,22	14,13	13,48	13,42	12,61	13,31	14,79	14,55	14,00
2011	14,28	14,53	14,38	14,31	13,65	13,79	12,72	13,33	13,18	14,85	14,45	14,13
2012	14,09	13,52	14,00	14,21	14,32	13,54	13,18	12,94	12,83	14,59	14,52	14,43
2013	14,89	14,28	14,49	14,40	14,32	13,79	12,74	13,06	13,47	14,46	15,24	14,74
2014	14,81	15,09	14,49	14,30	14,38	13,37	13,36	12,68	13,29	14,28	15,22	15,02
2015	14,23	15,05	14,63	14,44		13,37	13,62	13,62	14,15	14,95	15,20	14,73
<b>PROMEDIO</b>	14,68	14,53	14,59	14,49	14,21	13,50	12,93	13,03	13,65	14,61	14,92	14,76

*Elaborado por:* (Llasha 2020).

**Tabla N° 13 Porcentaje de espacios blancos de los datos de temperatura de la Estación Agro meteorológica Rumipamba - Salcedo (M0004).**

<b>TOTAL</b>	473	100	%
<b>BLANCOS</b>	7	1,5	%

*Elaborado por:* (Llasha 2020).

### 9.5.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN POR EL MÉTODO DE OUDIN

Para los detalles matemáticos de la formulación de PE, ver: Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., Anctil, F. y Loumagne, C., 2005. ¿Qué entrada potencial de evapotranspiración para un modelo de lluvia-escorrentía? Parte 2: Hacia un modelo de PE simple y eficiente para el modelado de escorrentía pluvial. Diario de Hidrología 303 (1-4), 290-306.

Para el cálculo de la radiación global extra-atmosférica, consulte el Apéndice C del artículo de Morton, F.I., 1983. Estimaciones operacionales de la evapotranspiración del área y su importancia para la ciencia y la práctica de la hidrología. Diario de hidrología 66 (1/4), 1-76.

**Tabla N° 14 Cálculo de evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>) utilizando la formulación propuesta por Oudin et al. (2005)**

Meses	Temperature (°C)	Julian day	teta	cosGz	Gz	cosOM	OM	Eta	cosPz	Global radiation (MJ/m <sup>2</sup> /d)	ET <sub>o</sub> (mm/d)
Julio	12,93	15	-0,373	0,932	0,371	-0,000989	1,572	1,032	0,593	429,37	2,701
Agosto	13,03	45	-0,241	0,972	0,239	-0,000622	1,571	1,024	0,619	443,83	2,808
Septiembre	13,65	75	-0,047	0,999	0,044	-0,000118	1,571	1,009	0,636	449,70	2,943
Octubre	14,61	105	0,160	0,987	0,163	0,000408	1,570	0,992	0,628	436,57	3,004
Noviembre	14,92	135	0,325	0,947	0,328	0,000852	1,570	0,977	0,603	412,43	2,883
Diciembre	14,76	165	0,406	0,918	0,408	0,001085	1,570	0,968	0,584	396,11	2,747
Enero	14,68	195	0,380	0,928	0,383	0,001009	1,570	0,967	0,591	400,05	2,762
Febrero	14,53	225	0,255	0,967	0,258	0,000660	1,570	0,975	0,616	420,38	2,881
Marzo	14,59	255	0,064	0,998	0,067	0,000163	1,571	0,989	0,635	440,25	3,026
Abril	14,49	285	-0,144	0,990	0,141	-0,000366	1,571	1,006	0,630	444,48	3,039
Mayo	14,21	315	-0,314	0,952	0,312	-0,000821	1,572	1,022	0,606	433,93	2,924
Junio	13,50	345	-0,403	0,921	0,400	-0,001076	1,572	1,031	0,586	423,90	2,752

*Elaborado por:* (Llasha 2020).

Para ello se debe utilizar los datos de la temperatura obtenidas de la estación agro meteorológica Rumipamba-Salcedo(M0004).

### 9.5.2. CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA MENSUAL MÉTODO USDA SOIL CONSERVATION SERVICE

La utilización de un método conveniente para países en desarrollo, es muy efectivo y uno de los más sencillos para realizar los cálculos, se obtienen datos de precipitación de la zona otorgados por la estación más cercana posteriormente se procede con la determinación de la escorrentía directa dada en mm. Todo este proceso de cálculo matemático esta resumido en la tabla

**Tabla N° 15 Cálculo de la precipitación efectiva mensual (S. C. S)**

PRECIPITACIÓN (mm)												
RUMIPAMBA-SALCEDO												M0004
AÑO	MESES											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1976	66,3	79,4	114,6	118,9	46,4	38,6	25,3	15,8	14,3	27,9	102,8	71,8
1977	70,1	53,1	40,4	67,8	13,5	37,6	9,1	33,8	75,8	37	27,7	76,9
1978	5,7	35,9	74,1	69	36,7	18,6	34,7	9,3	28,6	11,4	28,2	51,6
1979	51,5	19,8	72,9	93,8	52,9	12,7	16,2	41,6	50	12,2	34,5	6,2
1980	18,2	96,6	50,8	72,2	15,9	19	4,5	13,8	46,9	87,4	105,8	41,6
1981	8	34,9	66	39,9	60,3	5	19	30,3	9,7	38,2	12,3	40,3
1982	44,9	76,7	30,9	108,8	118,7	2,8	19,8	26,3	6,4	63,6	80,6	112,5
1983	45,2	27,1	81,8	67,7	77,2	8,4	6,2	9,5	26,6	44,4	17,3	99,3
1984	59	117,3	65,6	99,7	42,9	21,9	12,2	9,5	135,4	44,4	56,7	22,1
1985	76,5	8,6	13,6	67	70,2	20,8	12,5	21,6	40,7	20,9	69,2	77,2
1986	44,1	41,6	70,8	43,5	54,9	23,8	6,5	17,2	34,1	83,3	102,8	31,9
1987	54,3	34,1	58,8	98,9	68,3	4,5	23,5	6,8	40,2	57,6	22,5	8,5
1988	28,2	85,2	16,3	75,4	45,8	42,8	31,9	34,1	34,6	61,8	103,9	86,6
1989	81,7	64,4	121,4	26,1	67,2	88,8	15,9	3,4	36,6	56,8	9,1	12,3
1990	28,3	62,5	17,7	41	54,2	26	11,4	4,5	18,2	139,9	39,3	56,3
1991	27,5	23,5	88,3	38,1	32,1	23,2	19,7	10,6	33,6	30,8	91,3	66,3
1992	51,3	49,5	34,6	71,2	29,7	16,4	13,7	4,1	42,9	47,3	41	65,5

<b>1993</b>	105,5	52,9	104,5	61,7	75,2	12	13,3	11,5	23,4	58,4	70,7	54,7
<b>1994</b>	44,5	71,8	59,4	65,3	23,2	13,8	13,1	27,5	21,6	40,7	89,8	36,6
<b>1995</b>	1,8	33,3	46,2	68,7	35,5	11,7	26,1	19,4	4	44,6	90,6	63,3
<b>1996</b>	48,2	66,8	61,1	59,7	98,4	39,1	14,6	13,1	33,6	71,5	40,6	45,1
<b>1997</b>	76,7	20,3	42,8	23,3	27,2	28,7	17	6,8	23,8	44,5	151,4	36,9
<b>1998</b>	7,6	63,9	68,8	64,2	101	29,1	20,7	11,2	8,1	89,1	37	60,1
<b>1999</b>	50,7	88,6	93,9	54,6	62,6	64,1	9,8	42,7	102	29,9	9,3	112,7
<b>2000</b>	116,1	127,8	70,5	75,8	136,1	59,4	8,4	16,3	59,2	7	18,6	43,8
<b>2001</b>	51,9	40,5	39,9	34,8	10,9	18,1	25	9,2	17,7	8,6	51,3	75,3
<b>2002</b>	36,1	16,8	57	125,6	46,7	37,9	8,6	7,9	7	62,1	76	48
<b>2003</b>	37,7	65,3	56,2	41	7,5	23,5	10	1,1	14,2	58	85,4	42,1
<b>2004</b>	10,9	45,4	30,9	59,9	65,6	5,8	22,9	15,9	21,6	17,8	82	56,9
<b>2005</b>	10,1	34,2	95,3	82,2	33,9	27,8	14,9	11,7	14,5	25,5	42,8	122,9
<b>2006</b>	33,9	45,1	120	89,4	22,5	80,3	2,4	15,1	17,7	13,5	150,3	69,2
<b>2007</b>	43,9	11,3	78	72,6	63,6	35,1	17,5	30,5	8,5	33,4	72,8	39,1
<b>2008</b>	79,7	88,9	85,6	132,1	76,7	36,7	20,6	36,5	28,4	155,5	85	38,6
<b>2009</b>	74,9	41,4	88,6	75,7	21,6	43,3	11,5	1,6	10,7	27,8	17,1	68,3
<b>2010</b>	2,8	27,3	35,7	101,8	42,6	40	70,7	12,8	41,2	40,8	99,9	78,3
<b>2011</b>	40,4	130	38,3	149,2	28,3	20	41,4	16,8	43,6	21,6	99,9	89,7
<b>2012</b>	102,1	65,9	29,1	69,7	15,1	9,6	6,5	13	20,5	70,5	70,5	24,6
<b>2013</b>	9,6	98,8	36,3	44	69,1	4,8	14	14,9	6,6	34,4	33	27,1
<b>2014</b>	86,7	15,1	78,5	61,8	116,8	25,8	8,2	16,9	58	46,8	50,2	41,1
<b>2015</b>	69,4	23,2	62,9	14,8	33,6	28,7	34,1	8	6	40,3	70,8	7,9
<b>PROMEDIO</b>	<b>66,3</b>	<b>79,4</b>	<b>114,6</b>	<b>118,9</b>	<b>71,3</b>	<b>25,7</b>	<b>14,1</b>	<b>17,2</b>	<b>55,3</b>	<b>107,4</b>	<b>102,8</b>	<b>74,0</b>

*Elaborado por:* (Llasha 2020).

## 9.6. MODELACIÓN DEL EMBALSE PARA LA MICROCUENCA DEL RÍO ALAQUEZ

Se establecen parámetros estadísticos de la imagen de 30\*30 número de pixeles de las imágenes satelitales obtenidas del Earthexplorer en los cuales se registra los datos de alturas máximas, mínimas y medias, con los cuales dependiendo del uso que se le va a dar son útiles en este caso, para la realización del embalse al tener un punto de aforo se necesita que la distancia de las celdas sean mejores y el pixel se reduzca para que al momento de modelar el mapa no nos dé tanto margen de error, para ello se cambia el pixel de 30\*30 a no de 5\*5, reduciendo así los sumideros o espacios vacíos.

**Tabla N° 16** Parámetro estadísticos para cambio de pixel

PARAMETROS ESTADISTICOS			
Parámetro	MDT 30*30	MDT 5*5	Unidad
FILA	994	6190	Pixel
COLUMNAS	836	5174	Pixel
MUESTRAS	30	30	Pixel
MINIMO	2740	2754	msnm
MAXIMO	5819	5778	msnm
RANGO	3079	3024	msnm
MEDIA	3647	3647	msnm
DESV.STAN	457	455	msnm
COEF VAR	12,53	12,48	%
ERROR TIP	83,1	82,7	msnm
ERROR MUE	2,28	2,27	%
TABLA T	1,313	1,313	
Limi Super	3731,4	3731,0	msnm
Limi infe	3537,9	3538,4	msnm
CONF	95,5		%

Distancia entre curvas  
54

*Elaborado por:* (Llasha 2020).

En donde para la determinación de la distancia en la que debe crearse cada curva de nivel se calcula de la siguiente forma:

Para calcular el número de muestra se utiliza la ecuación

13

$$NM = \sqrt{\frac{Fila+Columna}{2}}$$

Para determinar el rango

14

$$\text{Rango} = (\text{máximo} - \text{mínimo})$$

Para determinar el Coeficiente de variación

15

$$\text{C. V.} = \left( \frac{\text{Desv. Stan} * 100}{\text{Media}} \right)$$

Para determinar el error tipo

16

$$\text{Error tipo} = \left( \frac{\text{Desv. Stan}}{\sqrt{\text{muestras}}} \right)$$

Para determinar el error de muestra

17

$$\text{Error muestra} = \left( \frac{\text{Coef. var}}{\sqrt{\text{muestras}}} \right)$$

Para determinar la “Tabla T de Student” ver **Anexo N°28**

Para determinar el límite superior

18

$$\text{Limsup} = (\text{muestra} + (\text{tabla t} + \text{error tipo}))$$

Para determinar el límite inferior

19

$$\text{Lim. inf} = (\text{muestra} - (\text{tabla t} + \text{error tipo}))$$

Para la determinación de la confianza

20

$$\text{Conf.} = 100 - 2 * (\text{error muestra})$$

Para determinar el intervalo para re pixelar

21

$$\text{Intervalo} = \left( \frac{\text{Rango}}{\text{Coef. var} * \text{errormuestra} * K} \right)$$

En donde se tiene que sí; K va a ser 0.1 cuando el coeficiente de variación llegue al 100% y K va ser 2 cuando el coeficiente de variación apenas llegue a 1%

## **10.- MANEJO ESPECÍFICO DEL PROYECTO.**

### **10.1. Recolección de datos**

De las distintas estaciones Pluviométrica y Agro meteorológica que pertenecen respectivamente a Saquisilí (M0375) y Rumipamba-Salcedo (M0004), las más cercanas al lugar del proyecto.

### **10.2. Filtrado de información**

Que datos son de relativa importancia para la realización de cálculos de requerimiento hídrico.

### **10.3. Ingreso de información**

Generar una base de datos en Excel en la cual estén presentes los datos a utilizar y su respectiva resolución para los requerimientos hídricos.

### **10.4. Clasificar**

Realización de una base de datos

Ingreso de los datos requeridos para la tesis.

Introducción de los datos

Tabulación de los datos

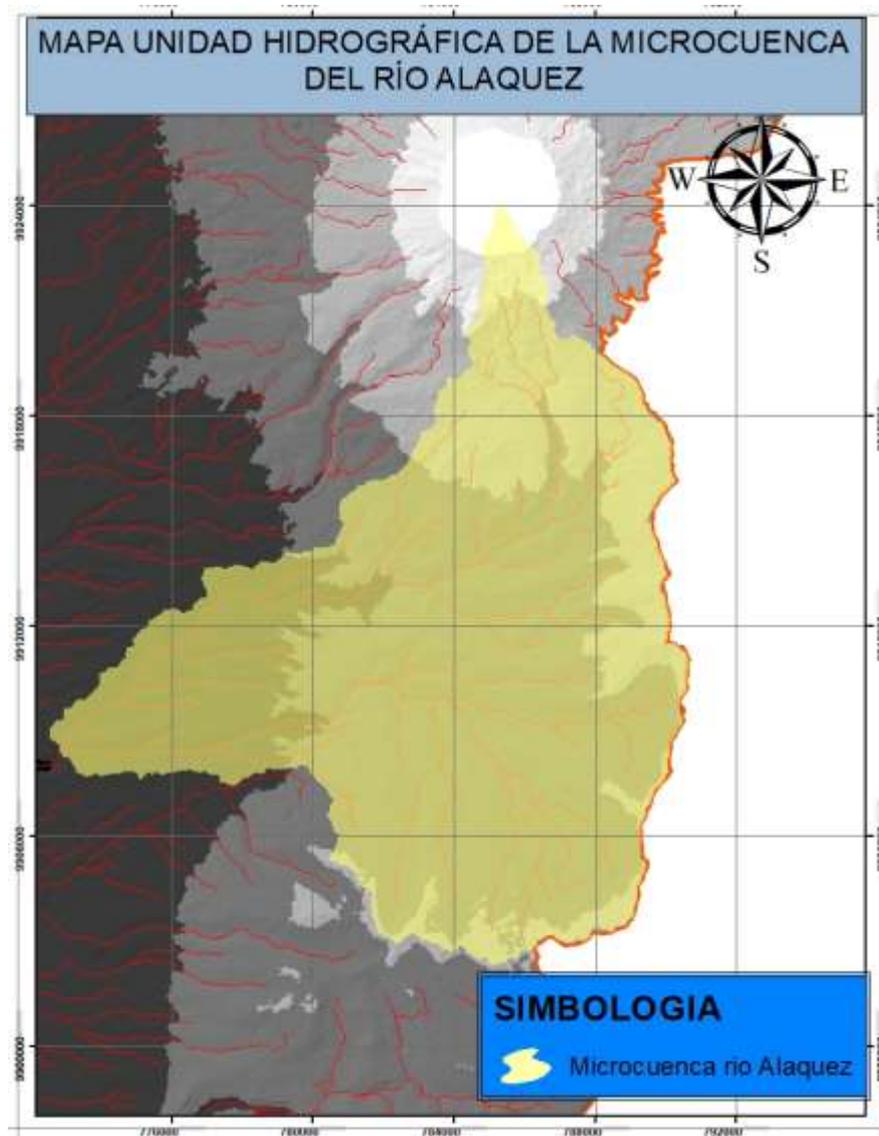
### **10.5. Análisis de Datos**

Con la información adquirida de las estaciones de la zona de estudio se distingue estaciones innecesarias las cuales no poseen datos mayores de 10 años para ser usadas en la investigación.

## 11.- ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 11.1. Delimitación de la microcuenca para el estudio en la parroquia de Alaquez.

Mapa N° 6 Unidad hidrográfía de la microcuenca del Río Alaquez

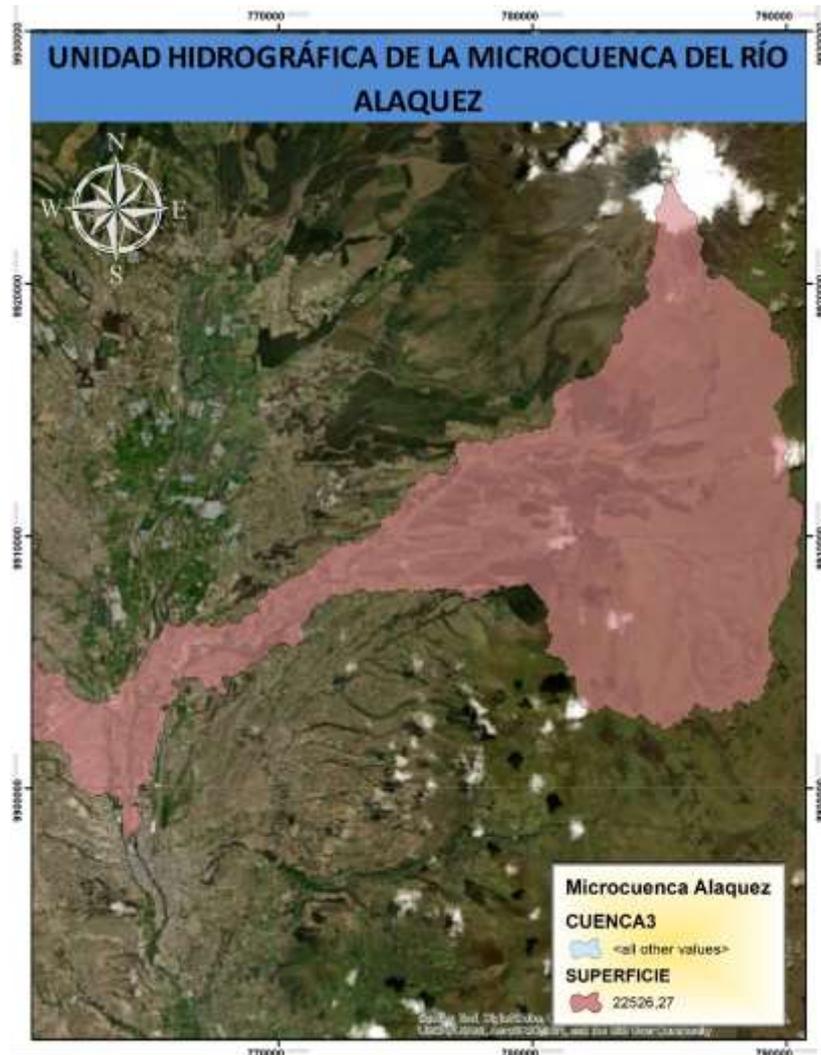


*Elaborado por:* (Llasha 2020).

Mediante una búsqueda de información se determina que ya hay un levantamiento y delimitación de la microcuenca del Río Alaquez, pero el cual no lo utilizaremos para nuestros fines de estudio, para la investigación se realiza una nueva delimitación en la

cual entran los puntos a tomar en la investigación y la cual cambia la delimitación de la microcuenca realizada con anterioridad.

**Mapa N° 7 Unidad hidrografía modificada de la microcuenca del Río Alaquez**

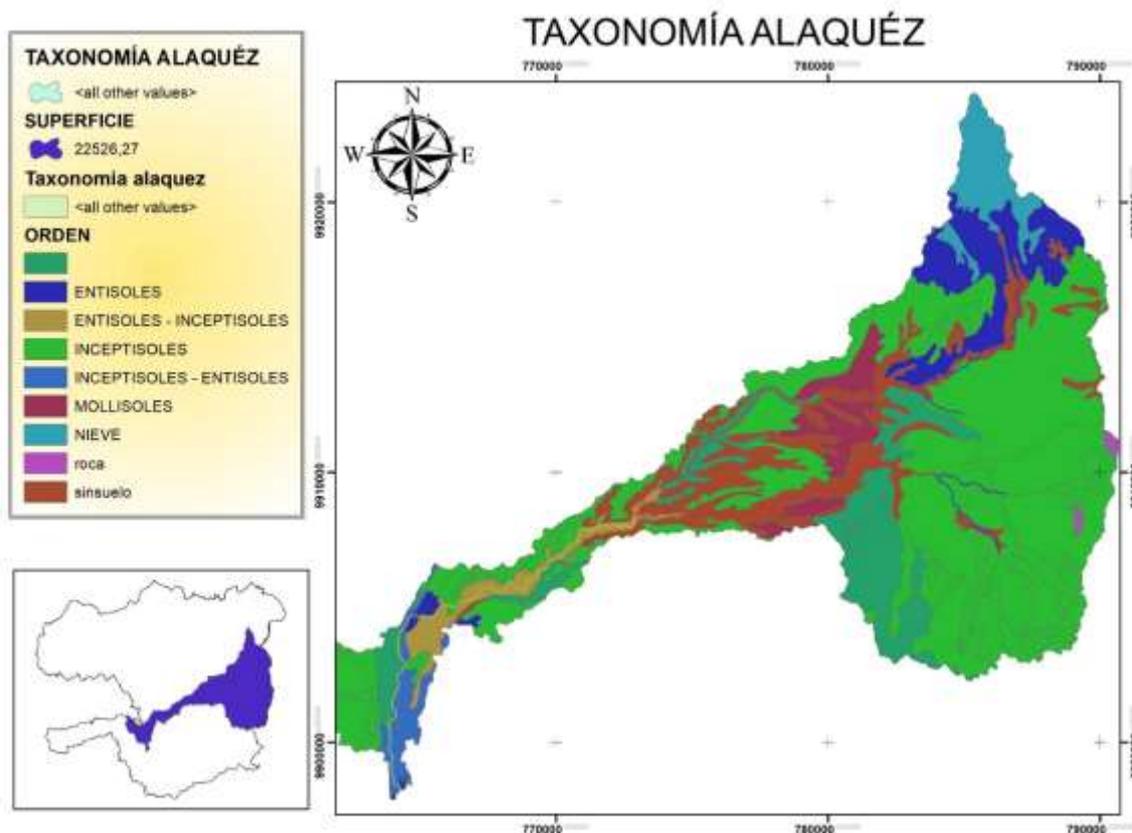


*Elaborado por:* (Llasha 2020).

Mediante el uso del método de Otto Pfafstetter, para delimitar la unidad hidrográfica se puede observar que esta recorre desde el Cotopaxi en su nacimiento hasta la desembocadura recorre en dirección Norte-Sur, paralelo al río Cutuchi, sobre su costado Este y confluye al mismo a la altura del centro de la ciudad. Su longitud de recorrido dentro del área urbana es de 5.6 Km, para lo cual se realiza un mapa distinto de la cuenca ubicando un punto de aforo diferente porque se toma en cuenta que se va a

modelar un embalse el cual aporte con el recurso hídrico los agricultores que se encuentran en las zonas bajas de la microcuenca, puesto que hay que contemplar que al carecer de sistema de alcantarillado en la zona este se contamina con desperdicios de residuos químicos utilizados en plantaciones y lubricadoras, la cual no es óptima para el uso en la agricultura.

**Mapa N° 8 Taxonomía del suelo presente en la microcuenca del Río Alaquez**



*Elaborado por:* (Llasha 2020).

En la zona de ubicación se tiene que existe gran porcentaje de presencia de suelo Inceptisoles siendo el predominante en la zona, sabiendo que un suelo inceptisol es aquel que posee gran contenido de materia orgánica, posee mala descomposición de la materia orgánica debido a las bajas temperaturas con Ph ácido con mal drenaje por lo que incluyen suelos cuyos horizontes superficiales aun estando algo desarrollados carecen de rasgos pertenecientes a otros órdenes del suelo.

## 11.2. Calculo de necesidades hídricas para los cultivos de papa y maíz

### 11.2.1. Llenado de datos faltantes de estaciones usadas

**Tabla N° 17 .-** Resumen promedios del llenado de datos incompletos de precipitación de la Estación Pluviométrica Saquisili (M0375), instalada por INHAMI en la Provincia de Cotopaxi en el Cantón Pujilí perteneciente a la Cuenca del Río Amazonas, con registro activo de datos desde 1979 hasta el 2015.

<b>RESUMEN</b>			
<b>PRECIPITACIÓN ( mm)</b>			
<b>meses</b>	<b>Promedio</b>	<b>Max</b>	<b>Min</b>
<b>ENERO</b>	64.7	164.0	10.20
<b>FEBRERO</b>	79.8	162.3	1.70
<b>MARZO</b>	89.4	185.6	4.90
<b>ABRIL</b>	92.7	209.9	13.20
<b>MAYO</b>	73.3	258.1	3.60
<b>JUNIO</b>	45.6	156.4	0.00
<b>JULIO</b>	30.5	106.7	2.40
<b>AGOSTO</b>	24.4	92.0	1.80
<b>SEPTIEMBRE</b>	43.7	181.9	0.00
<b>OCTUBRE</b>	78.0	327.5	4.80
<b>NOVIEMBRE</b>	80.3	406.0	3.20
<b>DICIEMBRE</b>	75.1	320.4	7.10

*Elaborado por:* (Llasha 2020).

Del llenado de datos faltantes de la estación Saquisili M0004 con un 9% de datos faltantes en los cuales fueron completados por el método de promedios porque no existe más allá de un 10% de datos faltantes los cuales se pueden resumir en la tabla de promedios.

Las precipitaciones que se tienen desde los años 1979 hasta el 2015, los valores máximos y mínimos de, teniendo la precipitación más baja en el mes de Agosto con 24.35 m/año registrado y la precipitación más alta en el mes de Abril con una precipitación de 92.7mm/años.

**Tabla N° 18.-** Resumen de promedios del llenado de datos incompletos de Temperaturas de la Estación Agro meteorológica Rumipamba-Salcedo (M0004), instalada por INHAMI en la Provincia de Cotopaxi en el Cantón Salcedo en la Parroquia San Miguel perteneciente a la Cuenca del Río Amazonas, con registro activo de datos desde 1976 hasta el 2015.

<b>T Media °C</b>			
<b>Meses</b>	<b>Promedio</b>	<b>Max</b>	<b>Min</b>
<b>ENERO</b>	14.68	16.01	13.60
<b>FEBRERO</b>	14.53	15.67	13.33
<b>MARZO</b>	14.59	15.72	13.58
<b>ABRIL</b>	14.49	15.69	13.75
<b>MAYO</b>	14.21	15.05	13.42
<b>JUNIO</b>	13.50	14.54	12.57
<b>JULIO</b>	12.93	13.68	11.71
<b>AGOSTO</b>	13.03	13.83	11.79
<b>SEPTIEMBRE</b>	13.65	14.26	12.52
<b>OCTUBRE</b>	14.61	15.46	13.66
<b>NOVIEMBRE</b>	14.92	15.89	13.83
<b>DICIEMBRE</b>	14.76	15.64	13.49

*Elaborado por:* (Llasha 2020).

Mediante el uso de completar con promedio los datos faltantes de temperatura que se tenía en la estación agro meteorológica Rumipamba-Salcedo (M0004), con un 1.5% de datos faltantes se pudo realizar de manera dinámica el llenado dando como resultado una tabla de resumen de temperaturas obtenidas desde el año 1976 hasta el 2015.

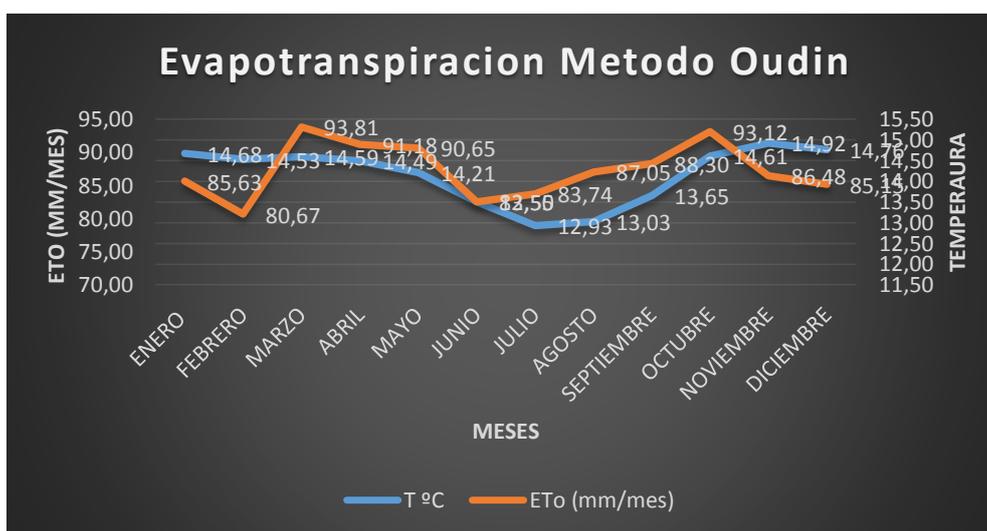
### 11.2.2. Evapotranspiración por el método de Oudin

Tabla N° 19.- Resumen del cálculo de la evapotranspiración mediante el uso del Método de Oudin, para estimar necesidades hídricas del cultivo de papa y maíz

Resumen Evapotranspiración Potencial			
Meses	T °C	ETo (mm/mes)	ETo (mm/dia)
ENERO	14.68	85.63	2.76
FEBRERO	14.53	80.67	2.88
MARZO	14.59	93.81	3.03
ABRIL	14.49	91.18	3.04
MAYO	14.21	90.65	2.92
JUNIO	13.50	82.55	2.75
JULIO	12.93	83.74	2.70
AGOSTO	13.03	87.05	2.81
SEPTIEMBRE	13.65	88.30	2.94
OCTUBRE	14.61	93.12	3.00
NOVIEMBRE	14.92	86.48	2.88
DICIEMBRE	14.76	85.15	2.75

Elaborado por: (Llasha 2020).

Figura N° 1- Relación temperatura para estimación de la ETo mensual



Con la utilización del método de Oudin para determinar la evapotranspiración de cada mes que se tiene en relación a su temperatura utilizando la radiación extraterrestre, se puede determinar que los meses que presentan mayor evapotranspiración potencial son los meses de marzo y octubre con una ETo de 93.81mm/mes y 93.12mm/mes respectivamente, esto puede ser debido a menor presencia de precipitaciones en la zona y presencia de altas temperaturas.

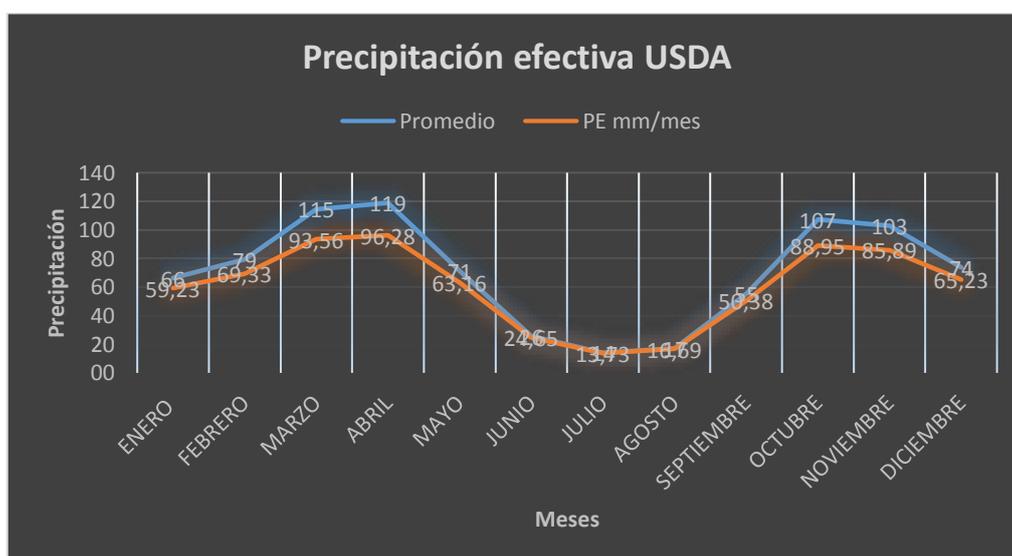
### 11.2.3. Precipitación efectiva por USDA SOIL CONSERVATION SERVICE

Tabla N° 20.- Resumen de la estimación de la precipitación efectiva mensual mediante el uso del método de USDA SOIL CONSERVATION SERVICE

Meses	Promedio	PE mm/mes	PE mm/día
<b>ENERO</b>	66.3	59.23	1.91
<b>FEBRERO</b>	79.4	69.33	2.48
<b>MARZO</b>	114.6	93.56	3.02
<b>ABRIL</b>	118.9	96.28	3.21
<b>MAYO</b>	71.3	63.16	2.04
<b>JUNIO</b>	25.7	24.65	0.82
<b>JULIO</b>	14.1	13.73	0.44
<b>AGOSTO</b>	17.2	16.69	0.54
<b>SEPTIEMBRE</b>	55.3	50.38	1.68
<b>OCTUBRE</b>	107.4	88.95	2.87
<b>NOVIEMBRE</b>	102.8	85.89	2.86
<b>DICIEMBRE</b>	74.0	65.23	2.10

Elaborado por: (Llasha 2020)

Figura N° 2.- Precipitación efectiva estimada por el método de USDA



Elaborado por: (Llasha 2020)

Con el uso de las fórmulas para estimar la precipitación efectiva mensuales de la estación Rumipamba-Salcedo (M0004) de los años de 1976 hasta el 2015, se puede determinar una precipitación promedio, la cual se usa para aplicar el método y de esta formar estimar las precipitaciones efectivas reales de los alrededores de la microcuenca del rio Alaquez, teniendo así, que los meses de marzo, abril, octubre y noviembre son

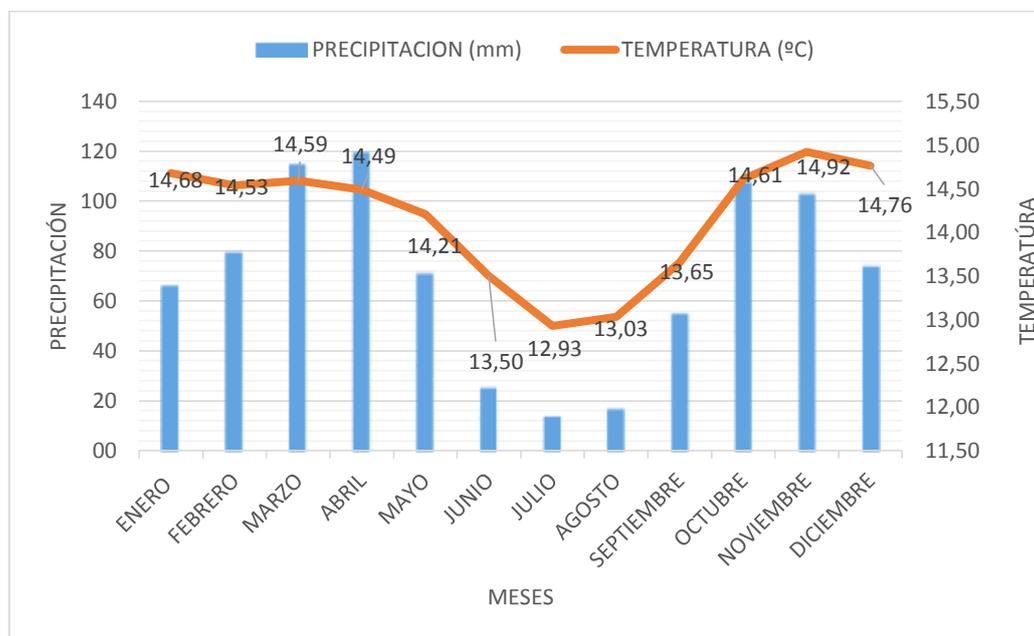
los meses en los cuales existe mayor precipitación y en los cuales hay mayor probabilidad de sembrar y tener un porcentaje de germinación elevado.

**Tabla N° 21** Relación de precipitación efectiva y temperatura del Río Alaquez

MESES	PRECIPITACION (PE) (mm)	TEMPERATURA(T) (°C)
ENERO	66.3	14.68
FEBRERO	79.4	14.53
MARZO	114.6	14.59
ABRIL	118.9	14.49
MAYO	71.3	14.21
JUNIO	25.7	13.50
JULIO	14.1	12.93
AGOSTO	17.2	13.03
SEPTIEMBRE	55.3	13.65
OCTUBRE	107.4	14.61
NOVIEMBRE	102.8	14.92
DICIEMBRE	74.0	14.76

*Elaborado por:* (Llasha 2020).

**Figura N° 3.-** Diagrama Ombrotérmico del Río Alaquez de los años 1976 al 2015



*Elaborado por:* (Llasha 2020).

Mediante la obtención de los datos de las estaciones usadas para la investigación se utilizan datos de precipitación y temperatura generando una tabla de relación temperatura y precipitación, para analizar mediante un diagrama Ombrotérmico en el cual podemos observar los meses que se posee mayor precipitación y menor precipitación, y al relacionar con la temperatura podemos decir que en los meses de baja

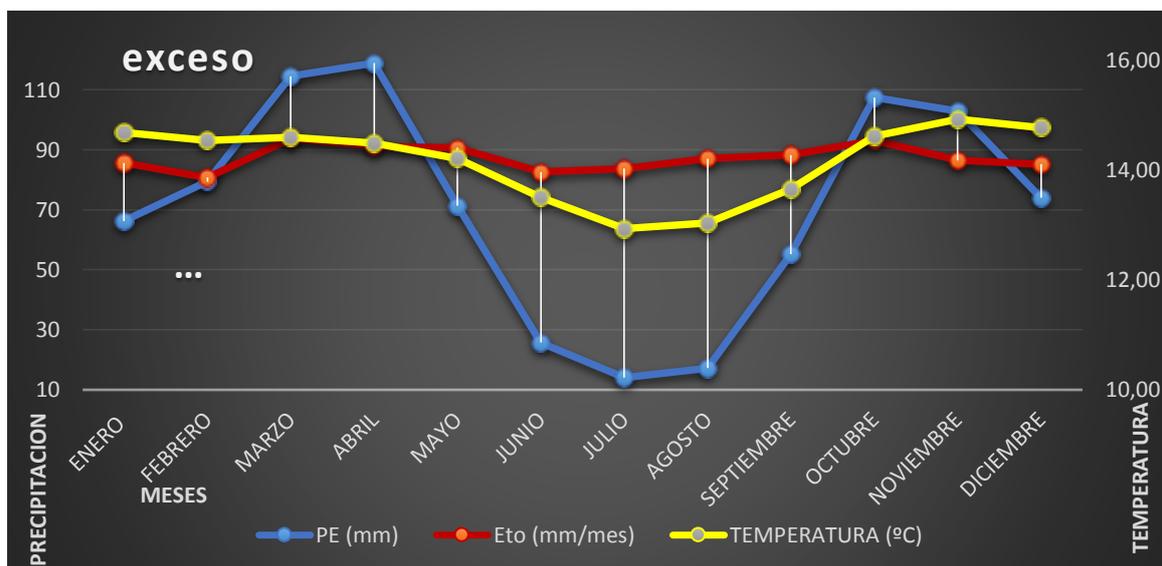
precipitación hay presencia de heladas por las temperaturas bajas los cuales afectan de forma sustancial a los agricultores por pérdidas de sus cultivos.

**Tabla N° 22** Relación de temperatura y precipitación y su determinación de la evapotranspiración potencial.

Meses	PE (mm)	Temperatura °C	ETo (mm/mes)
ENERO	66.3	14.68	85.63
FEBRERO	79.4	14.53	80.67
MARZO	114.6	14.59	93.81
ABRIL	118.9	14.49	91.18
MAYO	71.3	14.21	90.65
JUNIO	25.7	13.50	82.55
JULIO	14.1	12.93	83.74
AGOSTO	17.2	13.03	87.05
SEPTIEMBRE	55.3	13.65	88.30
OCTUBRE	107.4	14.61	93.12
NOVIEMBRE	102.8	14.92	86.48
DICIEMBRE	74.0	14.76	85.15

*Elaborado por:* (Llasha 2020).

**Figura N° 4.-** Diagrama Ombrotérmico con relación a la evapotranspiración potencial.



*Elaborado por:* (Llasha 2020)

En la figura se observa que, en los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre la presencia de precipitaciones disminuye porque existe cambio de estación a verano, *los rayos del Sol llegan a esa parte de la Tierra de manera más directa que en otras épocas del año* (NASA, 2019), se presencia días más largos.

En cuanto a la temperatura se puede observar que, en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, indica un descenso, por efecto de la intervención de un factor clave, que es la velocidad del viento por ende existe presencia de heladas en la zona que resultan de alta peligrosidad para los cultivos y mediante el *análisis histórico meteorológico del INAMHI, determina que para el caso de Rumipamba-Salcedo, el período medio con heladas es de 194 días y el período medio sin heladas es de 171 días*(INAMHI, 2015).

En el mes de octubre existe mayor evapotranspiración con 93.12mm/mes, por efecto de la elevación en la precipitación con 107.4mm/mes y una temperatura de 14.92°C, se puede relacionar al conjunto de pérdidas físicas (evaporación) y biológicas (transpiración de las plantas) del suelo en vapor de agua, no obstante, en los meses de junio, julio y agosto se registra una evapotranspiración constante, pero muestra un descenso en la temperatura y precipitación, esto podría ser por la presencia del río Alaquez mediante la evaporación del agua y por la presencia de cultivos en la zona los cuales al ser seres vivos transpiran perdiendo agua en forma de vapor el cual se eleva a la atmósfera en conjunto con la evaporación del agua del río y de las pocas lluvias que se dan en esos meses.

#### 11.2.4. Necesidad hídrica para el cultivo de la papa

Tabla N° 23 Resumen de cálculos elaborados

NECESIDAD DE HÍDRICA												
Parámetro	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Número de días	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Precipitación efectiva (mm/mes)	59.23	69.33	93.56	96.28	63.16	24.65	13.73	16.69	50.38	88.95	85.89	65.23
Precipitación efectiva (mm/día)	1.91	2.39	3.02	3.21	2.04	0.82	0.44	0.54	1.68	2.87	2.86	2.10
ETo (mm/día)	2.76	2.88	3.03	3.04	2.92	2.75	2.70	2.81	2.94	3.00	2.88	2.75
ETo (mm/mes)	85.63	80.67	93.81	91.18	90.65	82.55	83.74	87.05	88.30	93.12	86.48	85.15
ETc (mm/día)	3.18	3.31	3.48	3.50	3.36	3.16	3.11	3.23	3.38	3.45	3.32	3.16
ETc (mm/mes)	98.47	92.78	107.88	104.86	104.24	94.93	96.30	100.10	101.54	107.08	99.45	97.92
Kc ponderado	1.15											
Necesidades Netas (mm/día)	1.27	0.92	0.46	0.29	1.33	2.34	2.66	2.69	1.71	0.59	0.45	1.05
Necesidades Netas (mm/mes)	12.84	12.10	14.07	13.68	13.60	12.38	12.56	13.06	13.24	13.97	12.97	12.77
Necesidades Brutas (mm/día)	2.53	1.85	0.92	0.57	2.65	4.69	5.33	5.38	3.41	1.17	0.90	2.11
Necesidades Brutas (mm/mes)	25.69	24.20	28.14	27.35	27.19	24.77	25.12	26.11	26.49	27.93	25.94	25.55
Qfc (l/s/ha)	0.29	0.21	0.11	0.07	0.31	0.54	0.62	0.62	0.39	0.14	0.10	0.24
Qfc (l/s/ha)	2.97	2.80	3.26	3.17	3.15	2.87	2.91	3.02	3.07	3.23	3.00	2.96

*Elaborado por:* (Llasha 2020)

En el gráfico se resumen los resultados calculados de las precipitaciones, temperaturas y evapotranspiración obtenidas mediante la utilización de los métodos de Oudin y el de USDA SOIL CONSERVATION SERVICE, y cálculo de necesidades netas para la estimación del requerimiento de agua en el cultivo de papa, el uso de estos datos determinar la cantidad a suplir en los meses determinados y en la etapa de mayor requerimiento hídrico en los cuales poseen mayor requerimiento de nutrientes, para su desarrollo adecuado.

**Tabla N° 24 Propiedad física del suelo presente en la delimitación de la microcuenca del Río Alaquez, con profundidad radicular de la papa.**

textura del suelo	Da (gr/cm3)	CC (%)	PMP (%)	Prof. Radicular
Arcilloso limoso	1.3	27	13	400

*Elaborado por:* (Llasha 2020)

Cuadro determinando el uso que posee la zona de Alaquez de acuerdo a el tipo de suelo y la profundidad radicular tomando en cuenta la dureza y la estructura.

**Tabla N° 25 Necesidades hídricas del cultivo de papa en los meses de mayo y junio**

Mes de Mayo	
<b>Evapotranspiración del cultivo de referencia</b>	<b>104.24</b>
Caudal concesionado (l/s) SENAGUA	1.5
V. caudal concesionado m3/día	129.6
Qfc (l/s/ha)	0.62
Área (m <sup>2</sup> )	2.408
<b>DN (m<sup>3</sup>/ha/mes)</b>	<b>410.9</b>
<b>DB (m<sup>3</sup>/ha/mes)</b>	<b>821.8</b>
Eficiencia del sistema	0.50
Eficiencia conducción	100
Eficiencia distribución	100
<b>Capacidad del reservo Río suelo (mm)</b>	<b>72.8</b>
<b>Lámina aprovechable (mm)</b>	<b>32.76</b>
Umbral de riego (propuesto)	0.45
Número de riegos	13
Volumen de agua	65.52

*Elaborado por:* (Llasha 2020)

Mes de Junio	
<b>Evapotranspiración del cultivo de referencia</b>	<b>96.30</b>
Caudal concesionado (l/s) SENAGUA	1.5
V. caudal concesionado m3/día	129.6
Qfc (l/s/ha)	0.62
Área (m <sup>2</sup> )	2.408
<b>DN (m<sup>3</sup>/ha/mes)</b>	<b>825.6</b>
<b>DB (m<sup>3</sup>/ha/mes)</b>	<b>1651.3</b>
Eficiencia del sistema	0.50
Eficiencia conducción	100
Eficiencia distribución	100
<b>Capacidad del reservo Río suelo (mm)</b>	<b>72.8</b>
<b>Lámina aprovechable (mm)</b>	<b>32.76</b>
Umbral de riego (propuesto)	0.45
Número de riegos	25
Volumen de agua	65.52

Se estableció que para el cultivo de papa la necesidad hídrica con respecto al lugar de la evaluación en los meses de mayo y junio requirieren  $821.8 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{mes}$  y  $1651.3 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{mes}$ , respectivamente tomando en cuenta los datos obtenidos por las estaciones meteorológicas usadas para el estudio, para ello estos datos podrían variar de los datos ingresados en los libros elaborados en Excel. Hay que tomar en consideración que la concesión dada para la zona de Alaquez no se la pudo adquirir por ende el caudal presentado es un supuesto el cual cambiaría al tener la concesión real.

Teniendo en cuenta que el requerimiento hídrico por ciclo para el cultivo de papa es de 700 a 1000mm y presentado la aportación que se debe dar en los meses mencionados para el Kmed del cultivo en los cuales la presencia de precipitación es menor y teniendo en cuenta que la temperatura en esos meses es elevada la evapotranspiración será mayor por lo que son susceptibles a tener estrés por falta de agua en su ciclo de mayor requerimiento.

Teniendo en cuenta que al realizar mayor aportación de agua al suelo las plantas no usan todo por ello se toma en consideración la profundidad radicular en el tipo de suelo que haya en el lugar, ya que ellas solo utilizan lo que necesitan para desarrollarse, y al realizar más aportación esta se perdería por escurrimiento o infiltración profunda y fuera pérdida de recurso que no se aprovecharías.

### 11.2.5. Necesidad hídrica para el cultivo de la Maíz

Tabla N° 26 Resumen de cálculos elaborados

NECESIDAD DE HÍDRICA												
Parámetro	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Número de días	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Precipitación efectiva (mm/mes)	59.23	69.33	93.56	96.28	63.16	24.65	13.73	16.69	50.38	88.95	85.89	65.23
Precipitación efectiva (mm/día)	1.91	2.39	3.02	3.21	2.04	0.82	0.44	0.54	1.68	2.87	2.86	2.10
ETo (mm/día)	2.76	2.88	3.03	3.04	2.92	2.75	2.70	2.81	2.94	3.00	2.88	2.75
ETo (mm/mes)	85.63	80.67	93.81	91.18	90.65	82.55	83.74	87.05	88.30	93.12	86.48	85.15
ETc (mm/día)	3.18	3.31	3.48	3.50	3.36	3.16	3.11	3.23	3.38	3.45	3.32	3.16
ETc (mm/mes)	98.47	92.78	107.88	104.86	104.24	94.93	96.30	100.10	101.54	107.08	99.45	97.92
Kc ponderado	1.15											
Necesidades Netas (mm/día)	1.27	0.92	0.46	0.29	1.33	2.34	2.66	2.69	1.71	0.59	0.45	1.05
Necesidades Netas (mm/mes)	12.84	12.10	14.07	13.68	13.60	12.38	12.56	13.06	13.24	13.97	12.97	12.77
Necesidades Brutas (mm/día)	2.53	1.85	0.92	0.57	2.65	4.69	5.33	5.38	3.41	1.17	0.90	2.11
Necesidades Brutas (mm/mes)	25.69	24.20	28.14	27.35	27.19	24.77	25.12	26.11	26.49	27.93	25.94	25.55
Qfc (l/s/ha)	0.29	0.21	0.11	0.07	0.31	0.54	0.62	0.62	0.39	0.14	0.10	0.24

*Elaborado por:* (Llasha 2020)

En el grafico se resumen los resultados calculados de las precipitaciones, temperaturas y evapotranspiración obtenidas mediante la utilización de los métodos de Oudin y el de USDA SOIL CONSERVATION SERVICE, y la realización de necesidades netas para la estimación del requerimiento de agua en el cultivo de papa para posterior mediante el uso de estos datos determinar la cantidad a suplir en los meses determinados y en la etapa de mayor requerimiento hídrico en los cuales poseen mayor requerimiento de nutrientes, para su desarrollo adecuado.

**Tabla N° 27 Propiedad física del suelo presente en la delimitación de la microcuenca del Río Alaquez, con profundidad radicular del maíz en mm.**

textura del suelo	Da (gr/cm3)	CC (%)	PMP (%)	Prof. Radicular
Arcilloso limoso	1.3	27	13	600

*Elaborado por:* (Llasha 2020)

Cuadro determinado el uso que posee la zona de Alaquez mediante el tipo de suelo que este posee y la profundidad radicular que posee en ese lugar por la dureza y la estructura que este posee.

**Tabla N° 28 Necesidades hídricas del cultivo de Maíz en los meses de octubre, noviembre y enero.**

Mes de Octubre	
<b>Evapotranspiración del cultivo de referencia</b>	<b>107.08</b>
Caudal concesionado (l/s)SENAGUA	1.5
V. caudal concesionado m3/día	129.6
Qfc (l/s/ha)	0.62
Área (m <sup>2</sup> )	2.408
<b>DN (m<sup>3</sup>/ha/mes)</b>	<b>181.4</b>
<b>DB (m<sup>3</sup>/ha/mes)</b>	<b>362.7</b>
Eficiencia del sistema	0.50
Eficiencia conducción	100
Eficiencia distribución	100
<b>Capacidad del reservorio Río suelo (mm)</b>	<b>109.2</b>
<b>Lámina aprovechable (mm)</b>	<b>49.14</b>
Umbral de riego (propuesto)	0.45
Números de riego	4
Volumen de agua	98.28

*Elaborado por:* (Llasha 2020)

Mes de Noviembre	
<b>Evapotranspiración del cultivo de referencia</b>	<b>107.08</b>
Caudal concesionado (l/s)SENAGUA	1.5
V. caudal concesionado m3/día	129.6
Qfc (l/s/ha)	0.62
Área (m <sup>2</sup> )	2.408
<b>DN (m<sup>3</sup>/ha/mes)</b>	<b>135.6</b>
<b>DB (m<sup>3</sup>/ha/mes)</b>	<b>271.2</b>
Eficiencia del sistema	0.50
Eficiencia conducción	100
Eficiencia distribución	100
<b>Capacidad del reservorio Río suelo (mm)</b>	<b>109.2</b>
<b>Lámina aprovechable (mm)</b>	<b>49.14</b>
Umbral de riego (propuesto)	0.45
Números de riego	3
Volumen de agua	98.28

Mes de Enero	
<b>Evapotranspiración del cultivo de referencia</b>	<b>98.47</b>
Caudal concesionado (l/s)SENAGUA	1.5
V. caudal concesionado m3/día	129.6
Qfc (l/s/ha)	100.00
Área (m <sup>2</sup> )	0.015
<b>DN (m<sup>3</sup>/ha/mes)</b>	<b>392.4</b>
<b>DB (m<sup>3</sup>/ha/mes)</b>	<b>784.8</b>
Eficiencia del sistema	0.50
Eficiencia conducción	100
Eficiencia distribución	100
<b>Capacidad del reservorio Río suelo (mm)</b>	<b>109.2</b>
<b>Lámina aprovechable (mm)</b>	<b>49.14</b>
Umbral de riego (propuesto)	0.45
Números de riego	8
Volumen de agua	98.28

Se estableció que para el cultivo del maíz la necesidad hídrica con respecto al lugar de la evaluación en los meses de octubre, noviembre y enero el requerimiento de  $362.7 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{mes}$ ,  $271.2 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{mes}$  y  $784.8 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{mes}$ , respectivamente tomando en cuenta los datos obtenidos por las estaciones meteorológicas usadas para el estudio, para ello estos datos podrían variar de los datos ingresados en los libros elaborados en Excel. Hay que tomar en consideración que la concesión dada para la zona de Alaquez no se la pudo adquirir por ende el caudal presentado es un supuesto el cual cambiaría al tener la concesión real.

Teniendo en cuenta que las precipitaciones en los meses de Octubre y Noviembre son de 107.4mm y 201.4mm y el requerimiento hídrico del maíz es de 600 a 1200mm por ciclo del cultivo, lo que quiere decir que el requerimiento del cultivo en los meses nombrados para la fase de mayor requerimiento que en este caso en la media o Kmed debemos suplir su necesidad con los valores dados en las tablas, para que en los meses de menor precipitación estos ya no tengan estrés hídrico teniendo en cuenta que los resultados obtenidos son por hectárea para estimar en áreas más grandes el valor a tener el cálculo se lo cambiaría en los libros de Excel generados.

Teniendo en cuenta que al realizar mayor aportación de agua al suelo las plantas no usan todo por ello se toma en consideración la profundidad radicular en el tipo de suelo que haya en el lugar, ya que ellas solo utilizan lo que necesitan para desarrollarse, y al realizar más aportación esta se perdería por escurrimiento o infiltración profunda y fuera perdida de recurso que no se aprovecharías.

### 11.3. Modelación del embalse cálculos

Tabla N° 29 Establecimiento de parámetros estadístico para modelar una nueva imagen áster de 5\*5

PARAMETROS ESTADISTICOS			
Parámetro	MDT 30*30	MDT 5*5	Unidad
FILA	994	6190	Pixel
COLUMNAS	836	5174	Pixel
MUESTRAS	30	30	Pixel
MINIMO	2740	2754	msnm
MAXIMO	5819	5778	msnm
RANGO	3079	3024.0	msnm
MEDIA	3647	3647	msnm
DESV.STAN	457	455	msnm
COEF VAR	12.53	12.48	%
ERROR TIP	83.1	82.7	msnm
ERROR MUE	2.28	2.27	%
TABLA T	1.313	1.313	
Limi Super	3731.4	3731.0	msnm
Limi infe	3537.9	3538.4	msnm
<b>CONF</b>	<b>95.5</b>		<b>%</b>

*Elaborado por:* (Llasha 2020)

El establecimiento de los parámetros estadísticos sirven para determinar la separación que se debe realizar para la creación de un áster de 5\*5, con un distanciamiento de 54m por cada curva de nivel teniendo en cuenta que el error tipo no varía mucho y el error de muestra se mantiene por debajo del 3% un valor aceptable para la realización del MDT nuevo, con un nivel de confianza del 95.5% en ambos casos, un valor aceptable para la realización teniendo que el número de filas a aumentado y de columnas esto se debe por la reducción de los pixeles en los cuales nos dan llenado de valores huecos o conocidos como sumideros, valores que nos dan error al tratar de modelar el embalse y realizar un MDT.

**Tabla N° 30 Superficie total de la cuenca y el área de manejo con la modelación del embalse.**

	<b>CUENCA</b>	<b>MANEJO</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>SUPERFICIE</b>	22526.27	3652.77	ha
<b>PORCENTAJE</b>	100	<b>16.22</b>	%
<b>INFILTRACION</b>	48.7		%
<b>ESCORRENTIA</b>	51.3		%

*Elaborado por:* (Llasha 2020)

La evaluación y delimitación de la cuenca nos da como resultado que esta posee una superficie total de 22526.27 hectáreas. El total de la cuenca elaborada para suplir con el requerimiento hídrico en la zona del estudio, teniendo un manejo de 3652.77 hectáreas del total de la cuenca siendo el 16.22% lo que se manejara con la modelación del embalse en el cual se tiene un 48.7% de infiltración de agua y una capa permeable de escorrentía del 51.3%, siendo estos valores importantes para modelar el embalse en las condiciones del suelo a implementar.

**Tabla N° 31 Parámetros de volumen e inundación dl embalse.**

<b>Altura</b>	<b>25</b>	<b>m</b>
<b>Sup.Inund</b>	35505041.9	m
<b>Sup.3D.Inund</b>	35784018.1	m
<b>VOL AGUA</b>	5510015159.6	$m^3$
<b>PP TOTAL</b>	244604	mm
<b>PP MENSUAL</b>	20383.7	mm
<b>Efectividad</b>	<b>0.35</b>	<b>%</b>
<b>Efectividad total</b>	<b>65</b>	<b>%</b>
<b>Capacidad del embalse</b>	<b>91258</b>	$m^3$

*Elaborado por:* (Llasha 2020)

Con la ubicación de un punto de aforo a una altura de 3016msnm se realiza la modelación del embalse a 25m, con una altura record de 3041msnm, se tienen que la superficie en 2D de inundación es de  $35505041.9m^3$  con un volumen de agua de  $91258m^3$ , es decir para regar 3652.77ha se necesitan  $5510015159.6m^3$ , al poseer una precipitación anual de 244604mm el embalse se llenara en un 65% del total con la aportación de los ríos que nacen del Cotopaxi, teniendo que el 35% del embalse quedara libre denominado como borde libre, llegando a la conclusión, que no se desbordara produciendo inundaciones en la zona.

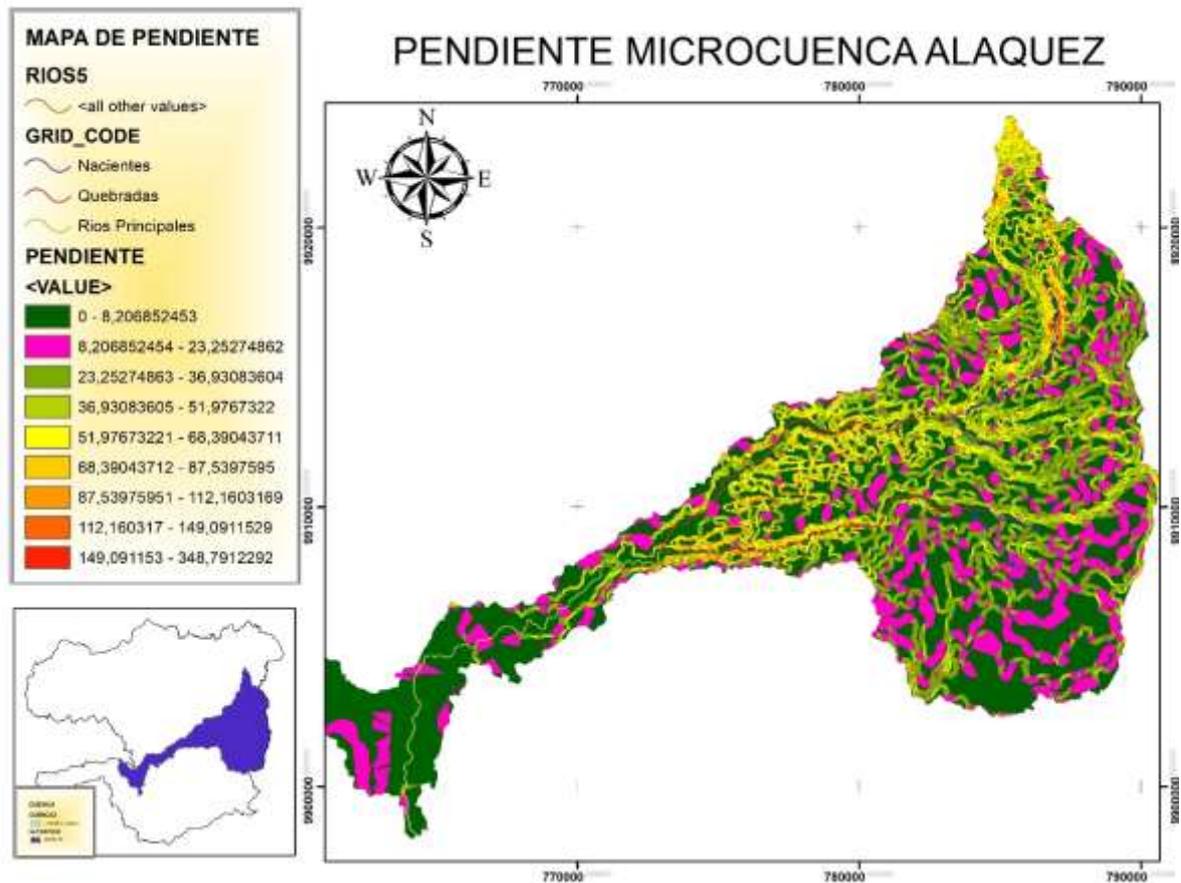
**Tabla N° 32 Datos de evaluación de precipitaciones que afectan al llenado del embalse**

<b>CUADRO DE PP</b>					
<b>MES</b>	<b>PRECIPITACION(mm)</b>	<b>TEMPERATURA(°C)</b>	<b>ETP(mm/mes)</b>	<b>SALDO</b>	<b>BALANCE</b>
<b>ENERO</b>	66.3	14.68	72.07	-5.81	-5.81
<b>FEBRERO</b>	79.4	14.53	71.36	8.07	2.26
<b>MARZO</b>	114.6	14.59	71.64	42.92	45.18
<b>ABRIL</b>	118.9	14.49	71.14	47.76	92.94
<b>MAYO</b>	71.3	14.21	69.75	1.54	94.47
<b>JUNIO</b>	25.7	13.50	66.29	-40.58	53.89
<b>JULIO</b>	14.1	12.93	63.48	-49.43	4.46
<b>AGOSTO</b>	17.2	13.03	63.98	-46.82	-42.36
<b>SEPTIEMBRE</b>	55.3	13.65	67.03	-11.77	-54.13
<b>OCTUBRE</b>	107.4	14.61	71.73	35.67	-18.45
<b>NOVIEMBRE</b>	102.8	14.92	73.26	29.55	11.09
<b>DICIEMBRE</b>	74.0	14.76	72.49	1.49	12.59
<b>TOTAL</b>	<b>846.80</b>		<b>834.21</b>	<b>12.59</b>	
<b>MEDIA</b>	<b>70.57</b>	<b>14.16</b>			

*Elaborado por:* (Llasha 2020)

La afectación de los diferentes factores que puedan influir a que se dé una catástrofe en el lugar de la creación de un embalse son considerados en la tabla, al igual que sus ventajas que ayuden a los agricultores a producir sus alimentos. En el cuadro se contemplan todas estas situaciones teniendo como dato que la precipitación anual en la zona llega a los 846.80mm al año es reducida y una temperatura promedio de 14.16, el lugar en donde se modela el embalse se tiene un evapotranspiración total solo del sitio de 834.12mm/año, y teniendo que los meses de enero, junio, julio, agosto, septiembre, son los meses en los que el saldo de la precipitación es negativa factores importantes en la modelación ya que se sabe que en esos meses se podría dar mantenimiento, con el balance de un 12.59% el cual es adecuado para que este no tenga problemas al momento de darle su uso.

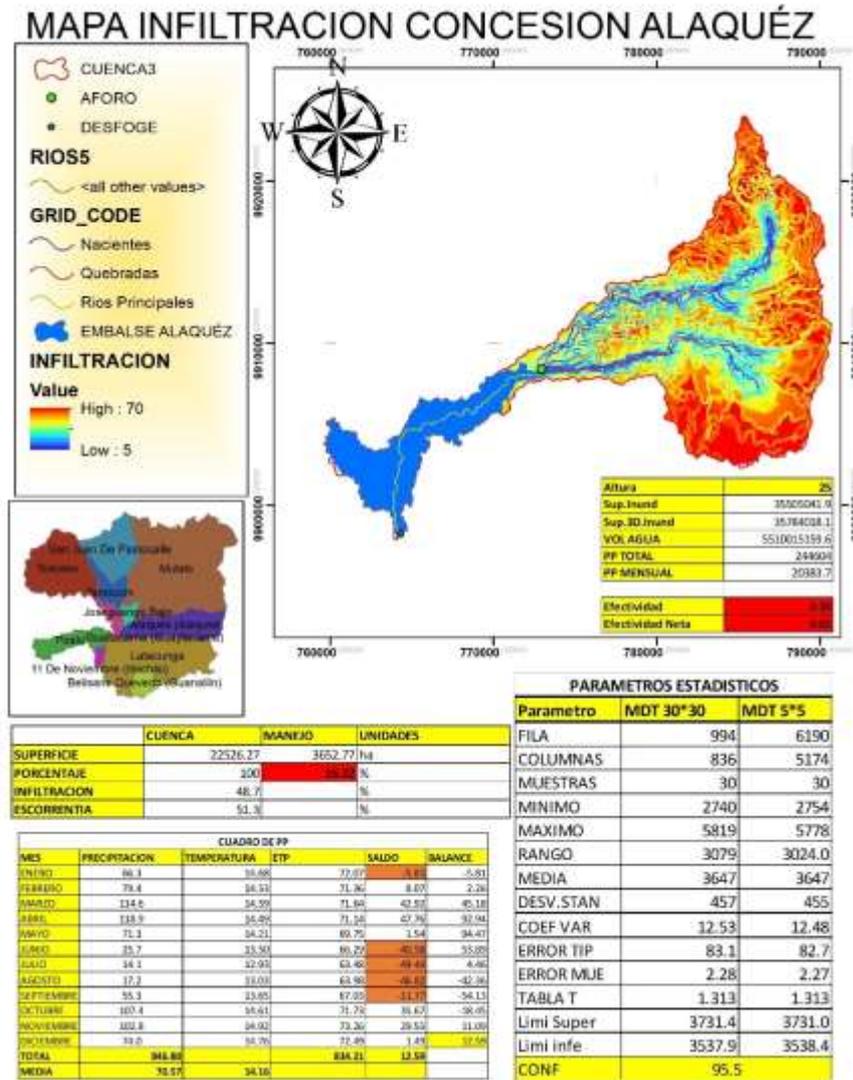
## Mapa N° 9 Niveles de pendiente existentes en la microcuenca del Rio Alaquez



*Elaborado por:* (Llasha 2020)

En la zona del punto de aforo existe una pendiente de 23%, teniendo en cuenta que la zona con mayor pendiente es del 149% lo cual se tiene que es por las faldas del volcán Cotopaxi y por lo cual existe un nacimiento el cual se unifica para la creación del río Alaquez, mostrando en el gráfico que en sí se posee una mayor presencia de pendiente de 8 al 10%, por ende, la escorrentía es menor.

Mapa N° 10 Modelación final del embalse con el mapa de infiltraciones y área afectada de la modelación dl embalse.



Elaborado por: (Llasha, 2020).

Por medio de la modelación del embalse en la microcuenca del río Alaquez, se obtuvo como resultado una tasa de infiltración de 48.7%, teniendo en cuenta, la velocidad de infiltración en este tipo de suelos Inceptisoles es de 16mm/h el cual presenta gran porcentaje de materia orgánica y una baja tasa de descomposición acarreando gran contenido de arcilla generando mal drenaje en el suelo, por lo tanto, al existir una distancia menor entre los poros, la saturación del suelo es rápida, generando un escurrimiento superficial de 51.3mm/h en una pendiente moderada de 20 a 30% ubicada en el punto de aforo a 3016msnm, donde se realizara la captura del agua con un

volumen de captación de  $5510015159.6m^3$  y una efectividad de llenado del 65%, es decir, no existirá desborde de agua ya que un 35% no se llenara teniendo en cuenta que la precipitación de llenado es de 20383.7mm/mes. Cabe recalcar que es una modelación.

De acuerdo a la teoría de Horton, la escorrentía se forma cuando la precipitación supera la capacidad de infiltración del suelo. Motivo por el cual la escorrentía depende de factores como: la intensidad y la duración de la precipitación, tipo de suelo, cobertura vegetal, pendiente del terreno, longitud de drenaje, entre otros factores(Gomez, 2014).

## 12. MATRIZ DE INVOLUCRADOS

**Tabla 1 Matriz de involucrados**

Actores		Nivel de poder	Interés	Sector económico
Privados	Agricultores	Alto	Promover la distribución igualitaria del agua en buenas condiciones	<b>Terciario:</b> presta servicios donde se distribuye alimentos
	Asociación de productores	Medio	Distribuir alimentos con productos manejados en buenas condiciones con buen recurso hídrico	<b>Terciario:</b> distribuye alimentos ya procesados para el alimento
	Tiendas agroecológicas	Bajo	promover y distribuir productos cosechados	<b>Terciario:</b> distribuye alimentos tangibles para el consumidor
	Supermercados	Alto	Distribuir productos agroecológicos a los consumidores, los cuales van en buenas condiciones y sin registro de estrés o elementos raros	<b>Terciario:</b> Distribuye productos a grandes escalas

*Elaborado por:* (Lasha 2020)

En la matriz de involucrados se posee los actores principales que se verán beneficiados con esta modelación y la repartición equitativa del agua para que estos puedan producir y cosechar lo que poseen en sus terrenos con las condiciones hídricas óptimas para los cultivos que se dan en el lugar sin dar un exceso del recurso el cual se desperdicia en escurrimiento y el uso no adecuado en lubricadoras de la zona la cual es una pérdida del recurso un recurso tan vital para todos y teniendo en cuenta que el agua es un recurso de todos y para todos por lo que no se debe privatizar este recurso es por ese motivo que en zonas con recurso hídrico no producen porque no están asociación a un afluente y no pueden hacer uso de este para producir o dar a sus animales.

### 13. PRESUPUESTO

Tabla N° 33. Presupuesto del proyecto

Recursos	Cantidad	Unidad	V. Unitario \$	Valor Total \$
<b>Equipos</b>				
GPS	1	1	150	150
<b>Software</b>	150			
ArcGis	1	1	450	450
<b>Transporte y salida de campo</b>	450			
Carro	1	1	10	20
<b>Materiales y suministros</b>	20			
Hoja resma	2	2	6	12
Esferos	4	4	0.5	2
<b>Ayuda a encuestas realizadas</b>	14			
Almuerzos	3	3	3	9
<b>Material Bibliográfico y fotocopias.</b>	9			
Internet	20	20	0,6	12
Impresiones	120	120	0,1	12
Copias	1	1	6.5	6.5
<b>Sub Total</b>				606.15
<b>10%</b>				67.35
<b>TOTAL</b>				<b>673.5</b>

*Elaborado por:* (Llasha 2020)

## 14. CONCLUSIÓN

- Se concluye que las condiciones actuales del sector no son las óptimas para el crecimiento y desarrollo de los cultivos de papa y maíz, teniendo una precipitación anual de 846.80mm/año, además que el caudal concesionado para riego no satisface las necesidades hídricas de 700 a 1000mm/ para el cultivo de papa y 600 a 1200mm/ciclo para maíz, el riego que se debe dar a los cultivos teniendo en cuenta la precipitación mensual es de  $821.8 \frac{m^3}{ha} /mes$  en el mes de Mayo y de  $1651.3 \frac{m^3}{ha} /mes$  en Junio, mientras que para el cultivo de maíz  $362.7 \frac{m^3}{ha} /mes$  para el mes de Octubre,  $271.2 \frac{m^3}{ha} /mes$  en noviembre y para el mes de Enero se calcula de  $784.8 \frac{m^3}{ha} /mes$ , por lo que es necesario contar con un embalse de una capacidad de acumulación de agua de  $91258m^3$ , con una efectividad del 65% de llenado, mientras que el 35% es borde libre el cual ayudara a retener agua en caso de que las precipitaciones no tengan el comportamiento estimado y rebase el cálculo.

## **15. RECOMENDACIONES**

- El estudio hidrológico en la microcuenca es necesario para estimar el comportamiento de los cauces de los ríos, contemplando de la misma forma el estudio civil para la construcción del embalse haciendo uso de la modelación realizada en la cual se das condiciones del sector y su eficiencia al momento de realizarlo. Utilizando estaciones meteorológicas que posean datos completos y estén más cercanas a la zona de estudio manejando un radio menor al utilizado para que los valores resultantes no se alteren por la diferencia altitudinal, teniendo en cuenta que la diferencia de 100msnm existe variaciones en el clima como en las precipitaciones, datos de temperatura y evapotranspiración por lo que se debe realizar una planificación de siembra con los meses en los que exista mayor presencia de lluvia, es decir aprovechar el recurso hídrico natural en la siembra de sus cultivos, reduciendo el uso del caudal concesionado.

## 16. BIBLIOGRAFÍA

- Alocén, J. C. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. 218.
- Alonso, D. (2016). *Cómo calcular la dirección y acumulación de flujo con Arc Hydro Tools en ArcGIS*. <https://mappinggis.com/2016/11/como-calcular-la-direccion-y-acumulacion-de-flujo-con-arc-hydro-tools-en-arcgis/>
- Araujo Navas, A. Lucía. C. T., Francisco Darío. (2009). *Propuesta de un plan de manejo integral de la cuenca del Río Casacay en el Cantón Pasaje, Provincia de El Oro mediante la Utilización de herramientas SIG (4)*. Universidad Politécnica del Ejercito. Facultad de ciencias de la tierra. Disponible en la biblioteca de la Universidad Politécnica del Ejercito. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/5754/T-PUCE-5909.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Banco Mundial. (2019). *El agua en la agricultura [GUBERNAMENTAL]*. BIRD AIF. <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>
- Baroja, G. (2017). *Hablemos de riego con los agricultores*.
- Cando Cardenas, G. F. (2015). *“EL AGUA DE RIEGO Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD DE VIDA DE LA COMUNIDAD JIGUA YACUBAMBA DEL CANTÓN PUJILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI”*. Universidad Tecnica de Ambato.
- Castillo Jumbo, F. A. (2015). Delimitación automática de microcuencas utilizando datos SRTM de la NASA. *Enfoque UTE*, V.6(N4), PP 81-97.
- CEDEVA. (s. f.). *Cálculo de la precipitación efectiva*. 10.
- copacogeca. (s. f.). *El agua y la agricultura en el contexto de un clima cambiante*. Rue de Trèves. <https://www.copa-cogeca.eu/Download.ashx?ID=836606>
- El Telégrafo, -Noticias del Ecuador y del mundo. (2014, marzo 26). *Comunas piden distribución equitativa del agua*. El Telégrafo - Noticias del Ecuador y del

- mundo. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/politica/3/comunas-piden-distribucion-equitativa-del-agua>
- Esri. (2016). *Cómo funciona Acumulación de flujo—Ayuda | ArcGIS for Desktop*. <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-flow-accumulation-works.htm>
- FAO. (1993). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación, 1993*. <http://www.fao.org/3/t0800s/t0800s09.htm>
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s02.pdf>
- Francisco-Nicolás, N., Turrent-Fernández, A., Flores-López, H. E., Martínez-Menes, M. R., & Enríquez-Quiroz, J. F. (2010). Estimación del escurrimiento superficial con el método SCS-CN en el trópico subhúmedo de México. *Terra Latinoamericana*, 28(1), 71-78.
- GARCIA, P. H. (2017). *DETERMINACIÓN DEL MÉTODO MÁS EFICIENTE PARA CALCULAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL PARA UN MODELO LLUVIA - ESCORRENTÍA EN LA CUENCA HUANCANÉ – PUNO*. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA. [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5872/Huaccoto\\_Garcia\\_Pedro.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5872/Huaccoto_Garcia_Pedro.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Gomez, S. A. C. (2014). *DETERMINACIÓN DE LA ESCORRENTIA PICO PARA LA SUBCUENCA DEL DRENAJE S/N TRIBUTARIO DEL RÍO ACACIAS CON AYUDA DEL SOFTWARE ILWIS*. 38.
- Granja, L. (s. f.). *El valor del agua en la agricultura*. 5.
- iAguá, redaccion. (2015, enero 5). *Estrés del agua* [Text]. iAguá. <https://www.iagua.es/blogs/beatriz-pradillo/estres-agua>
- INAMHI. (2015). *Red de Estaciones Automáticas | INAMHI* [GUBERNAMENTAL]. RED DE ESTACIONES AUTOMÁTICAS HIDROMETEOROLÓGICAS. <http://186.42.174.236/InamhiEmas/#>
- Morales, E. R. B. (2015). *MANEJO DE CULTIVOS ANDINOS DEL ECUADOR*. 145.
- NASA. (2019). *What Causes the Seasons? | NASA Space Place – NASA Science for Kids*. Space Place. <https://spaceplace.nasa.gov/seasons/sp/>
- pce. (s. f.). *¿Qué es una estación meteorológica?* [Científica]. pce-iberica.es. Recuperado 3 de febrero de 2020, de <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/que-estacion-meteorologica.htm>
- Romero, E. L., & Casimiro, W. L. (2015). *Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la cuenca Jetepeque, Perú*. 11.
- Velasco, D. M. (2014). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia de Alaquez- Cantón Latacunga Provincia de Cotopaxi 2015-2019*. 238.
- Velasco, M. (2014). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia de Alaquez- Cantón Latacunga Provincia de Cotopaxi 2015-2019*. 238.

Villalobos A., V. M., García, M., Ávila, F., & Inter-American Institute of Agricultural Sciences (Eds.). (2017). *El agua para la agricultura de las Américas*. IICA : Colegio de Postgraduados : Fundación COLPOS.

## **17. ANEXOS**

### **Anexo N° 1 Recorrido por el río Alaquez**



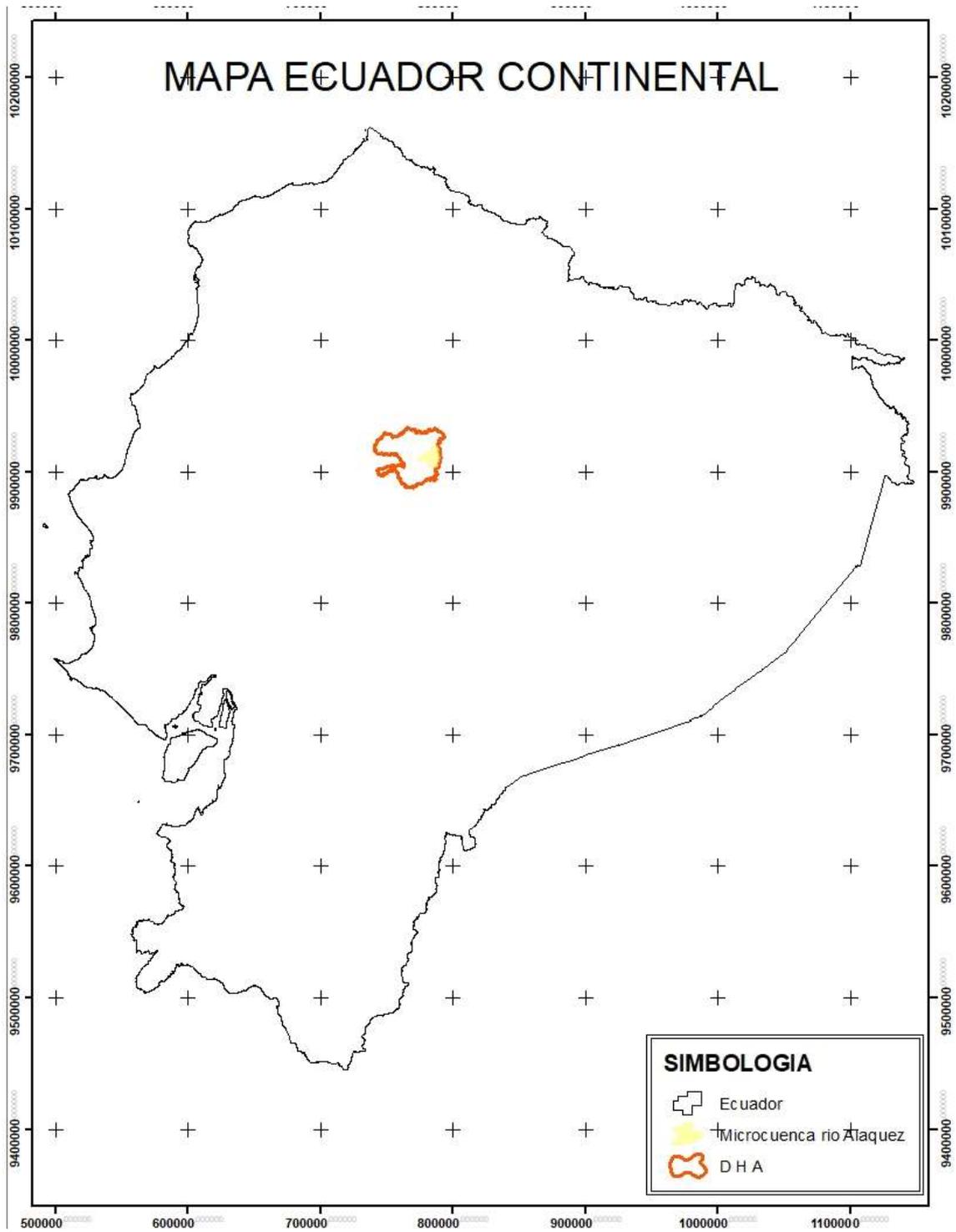
***TOMADO POR:*** (LLASHA 2020)

### **Anexo N° 2 Observación de las condiciones del río alaquez**



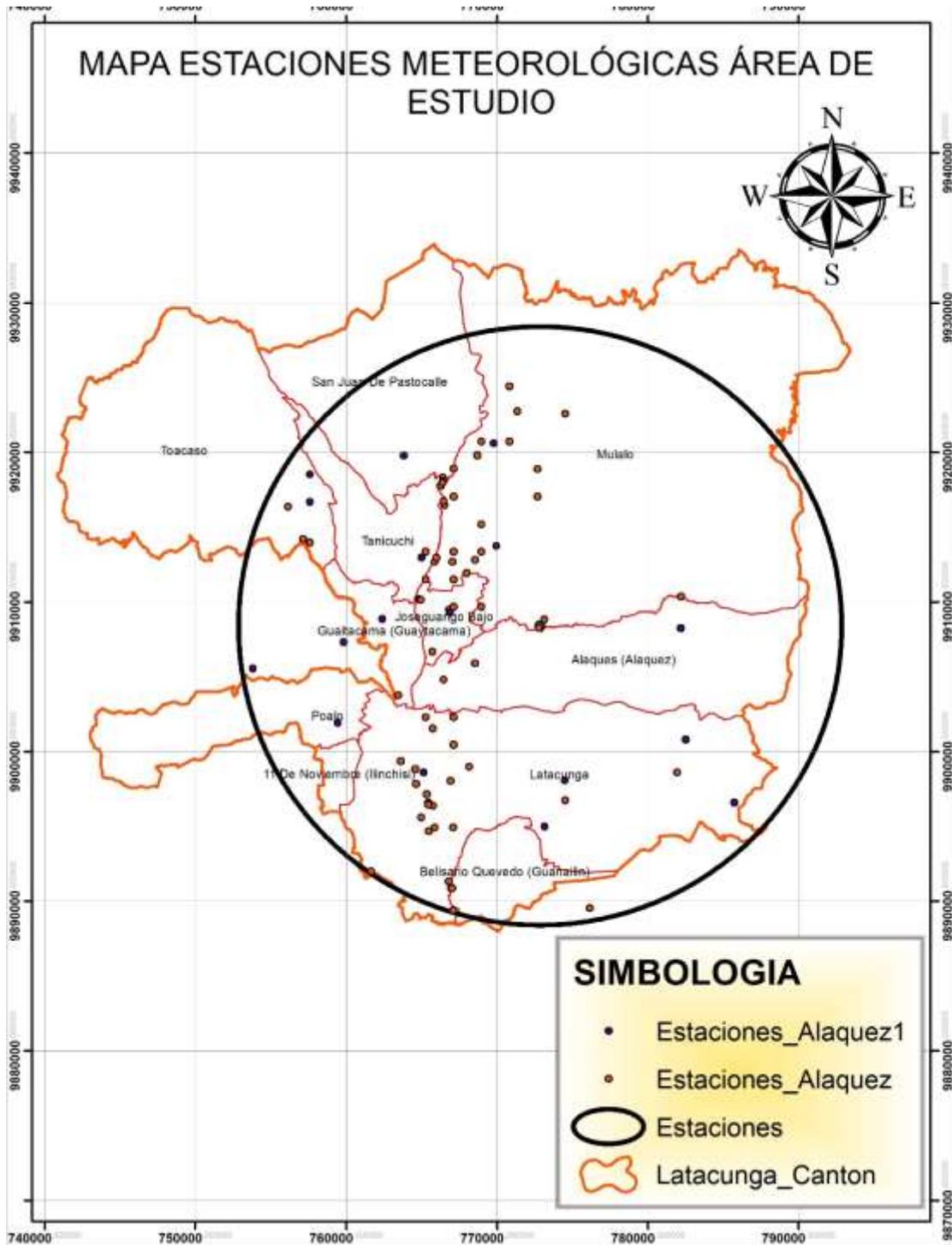
***TOMADO POR:*** (LLASHA 2020)

**Anexo N° 3 Mapa Ecuador continental con el Cantón Latacunga**



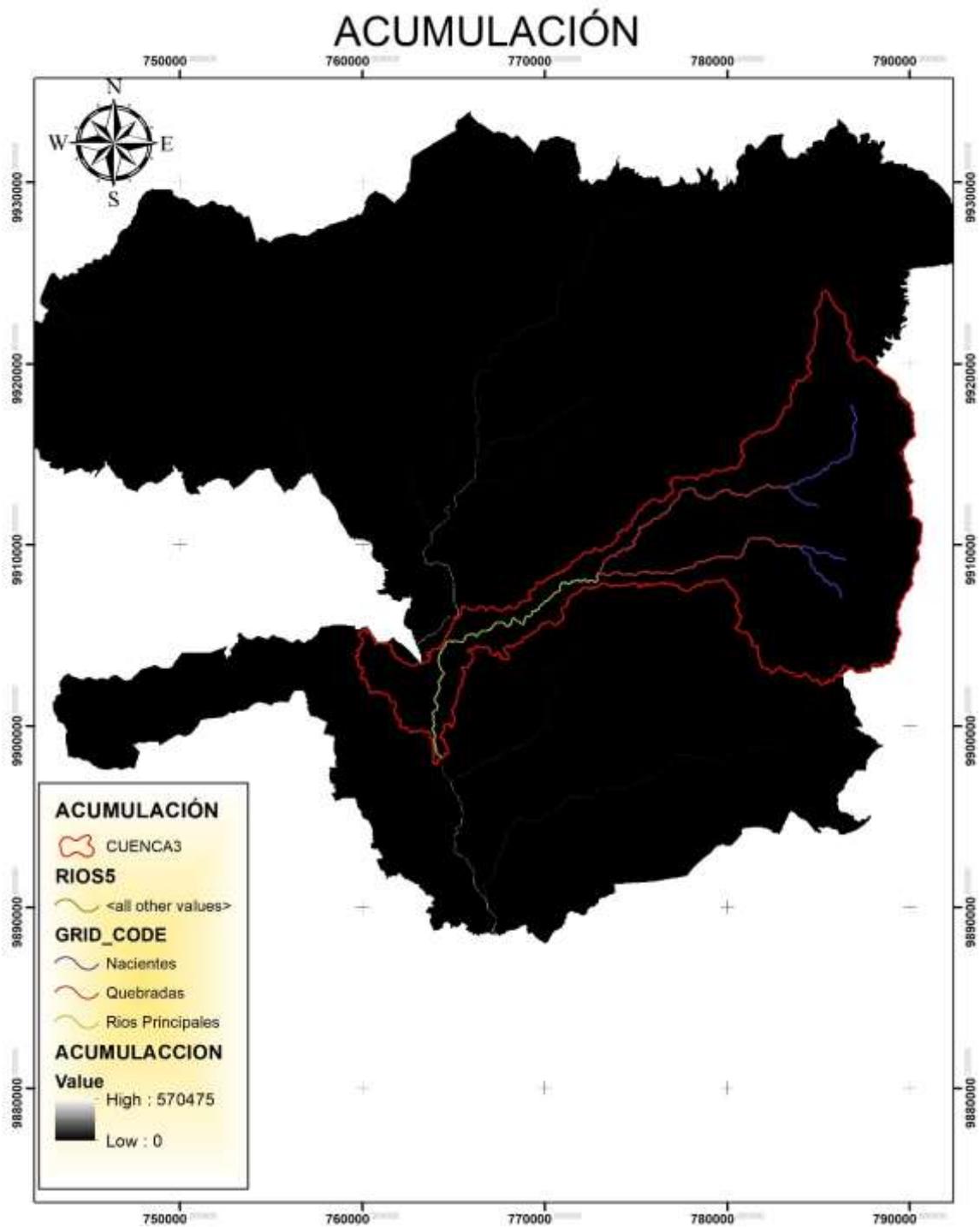
*Elaborado por: (Llasha 2020)*

**Anexo N° 4 Mapa de estaciones meteorológicas del área de estudio**



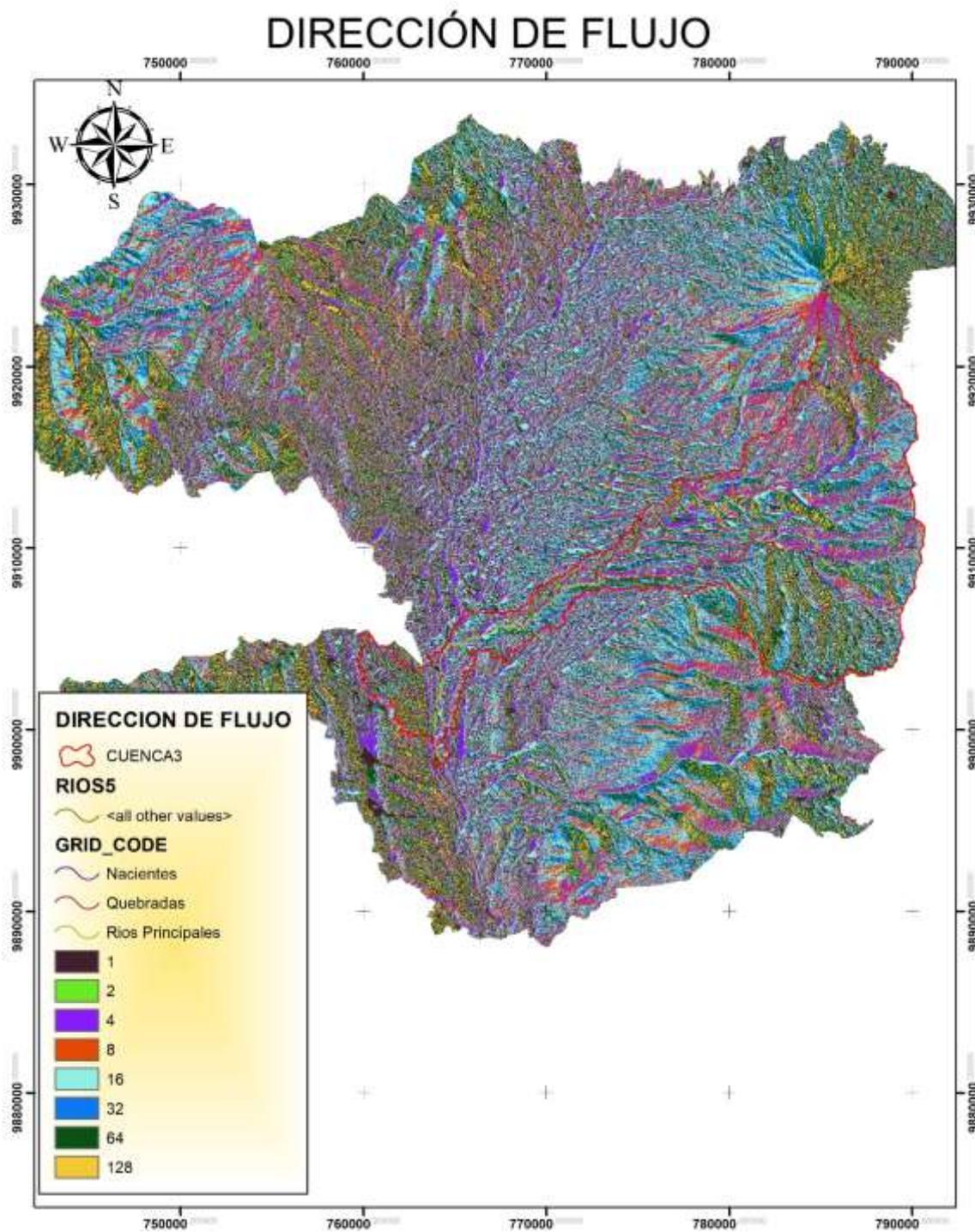
*Elaborado por: (Llasha 2020)*

Anexo N° 5 Mapa acumulación para delimitación de la microcuenca



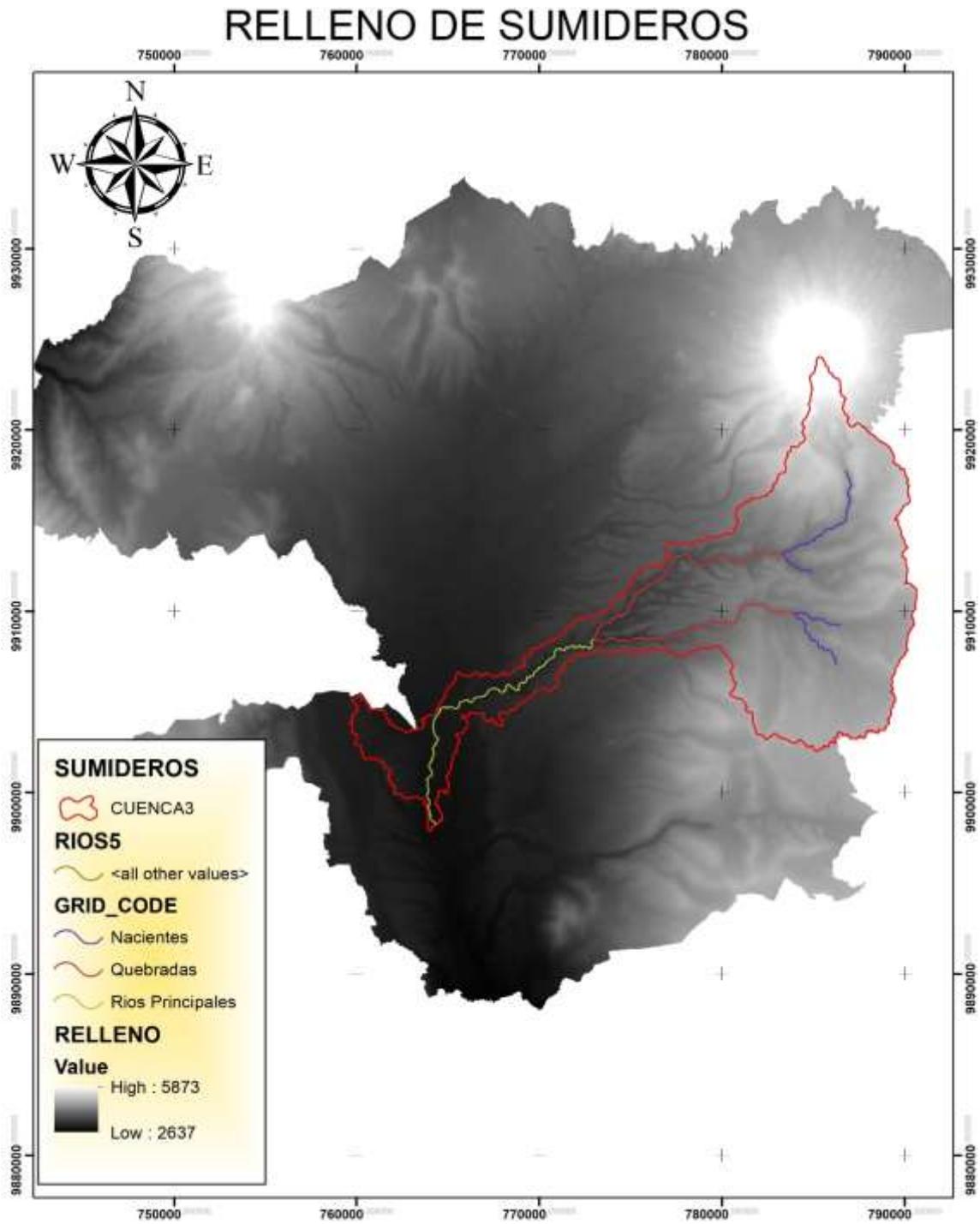
*Elaborado por: (Llasha 2020)*

Anexo N° 6 Mapa dirección del flujo para la microcuenca



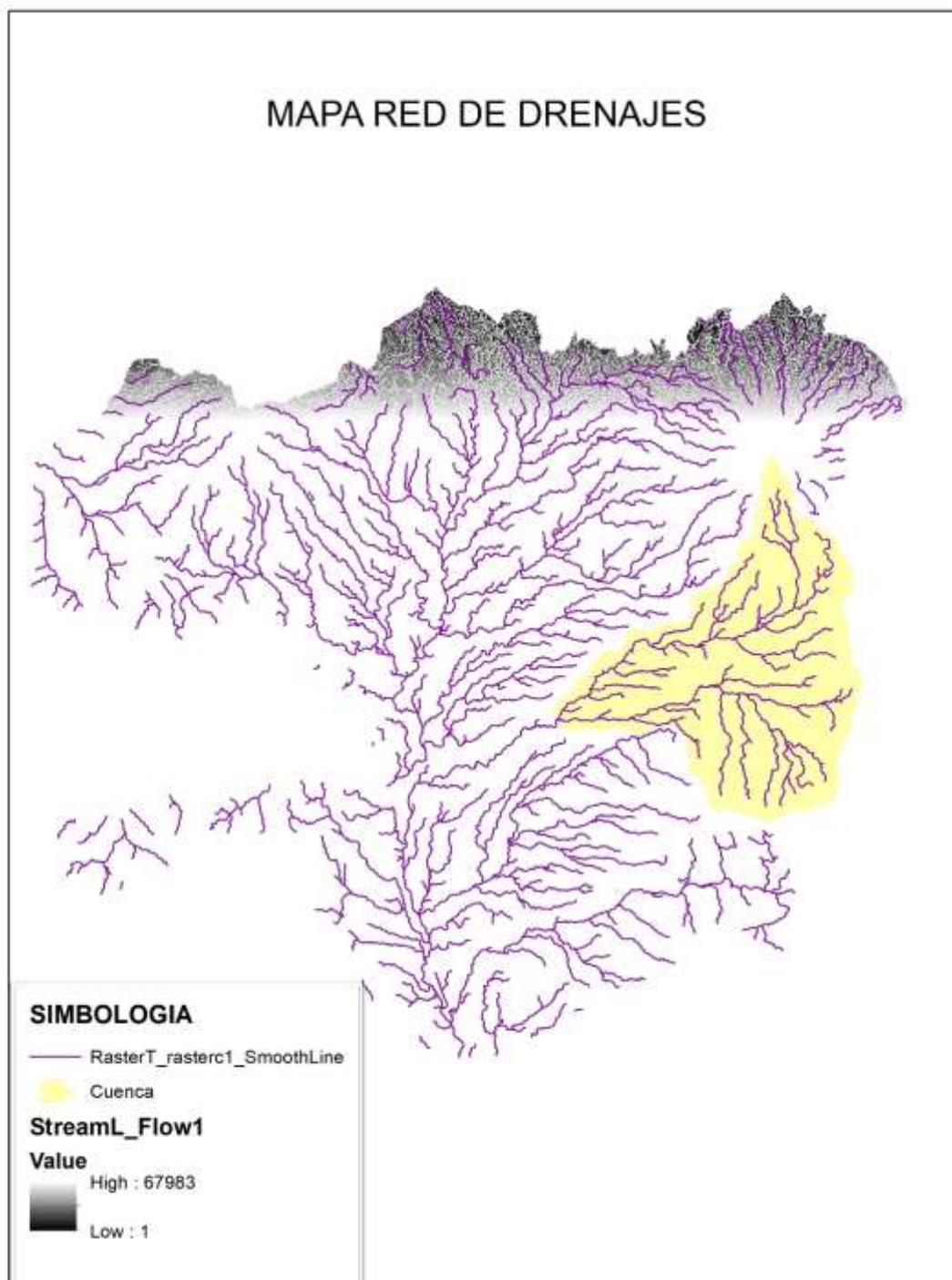
Elaborado por: (Llasha 2020)

Anexo N° 7 Mapa relleno de sumideros para la creación de la microcuenca



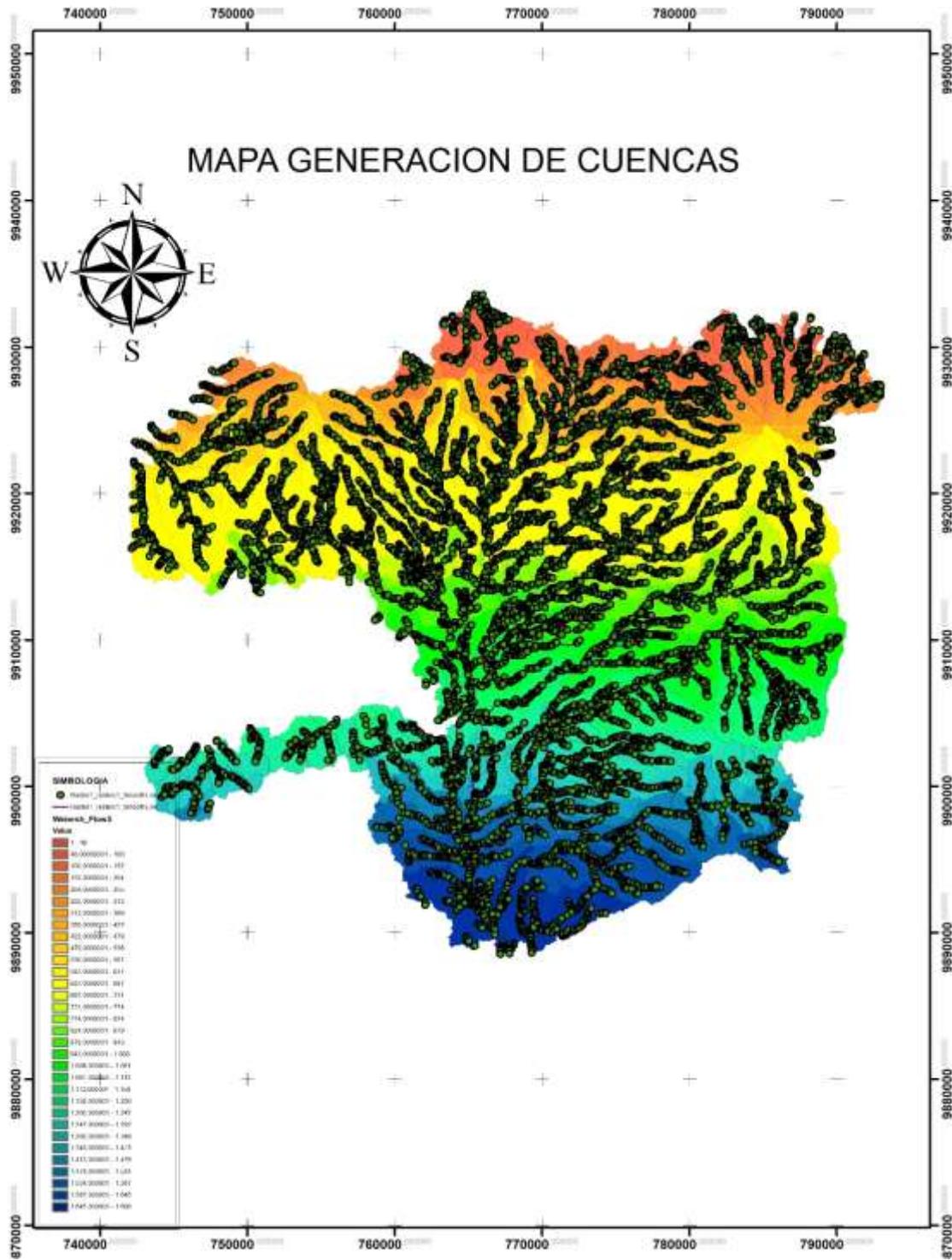
Elaborado por: (Llasha 2020)

Anexo N° 8 Mapa de red de drenajes para la microcuenca del rio Alaquez



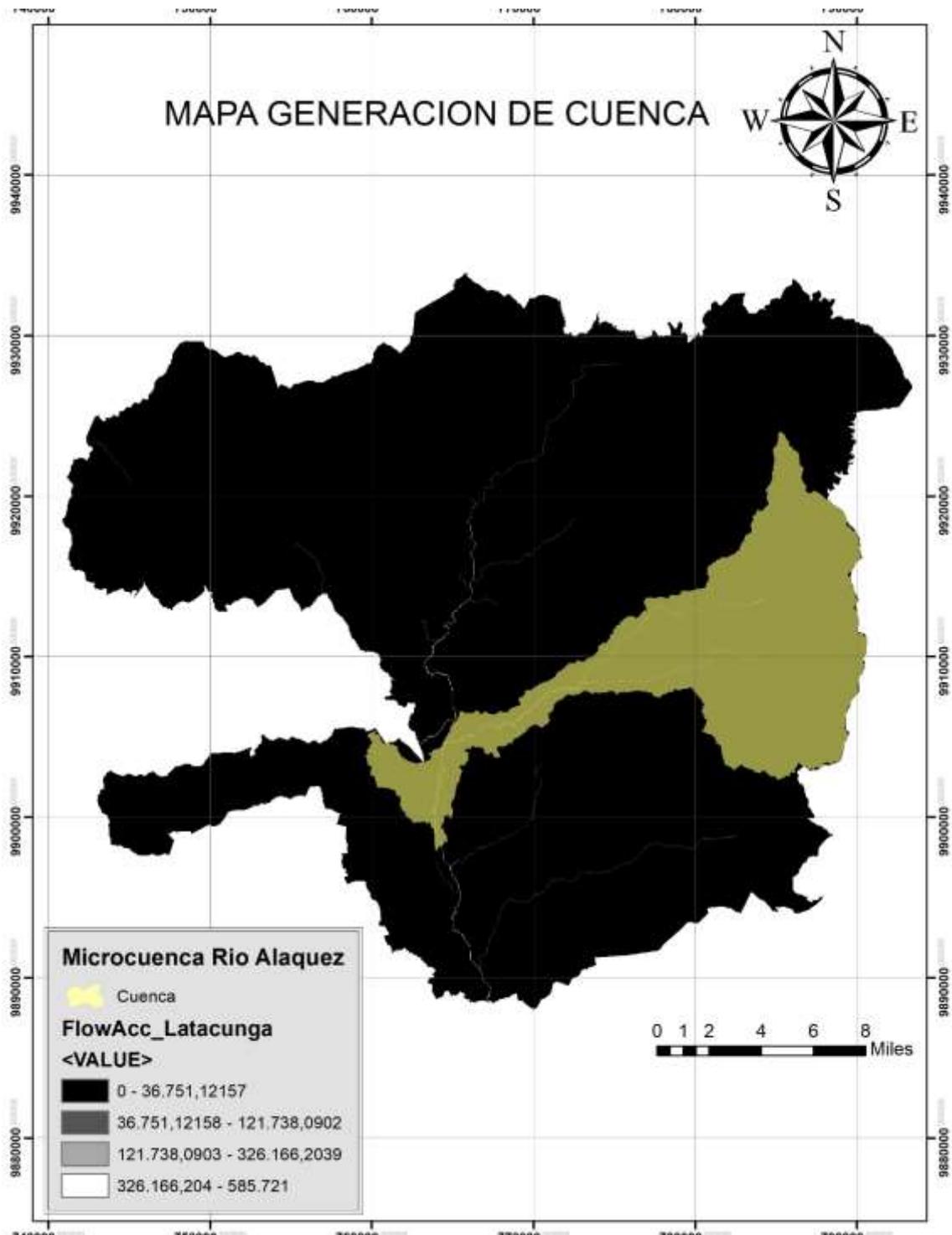
*Elaborado por: (Llasha 2020)*

Anexo N° 9 Mapa de generación de cuencas



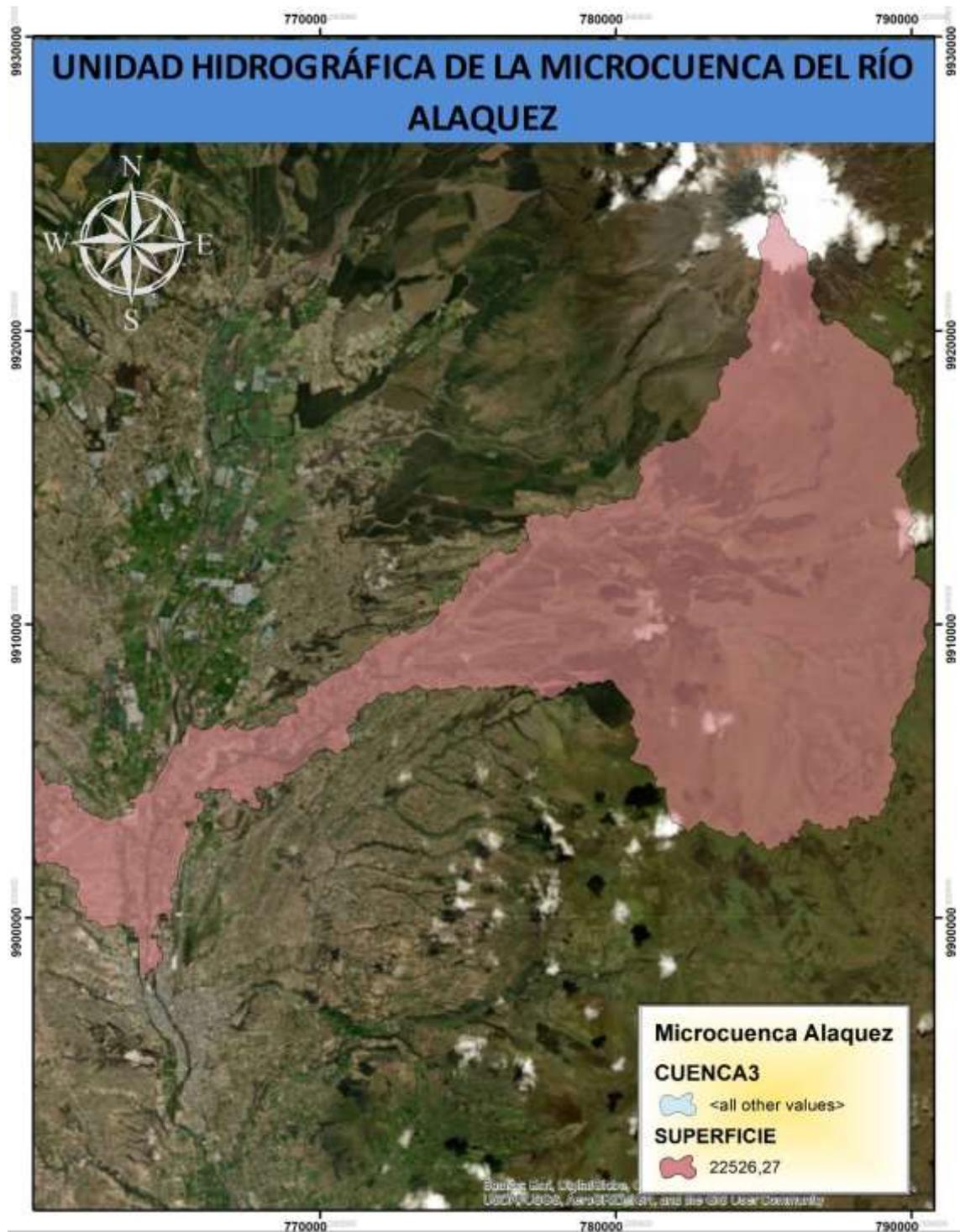
Elaborado por: (Llasha 2020)

**Anexo N° 10 Mapa delimitación de la microcuenca modificada**



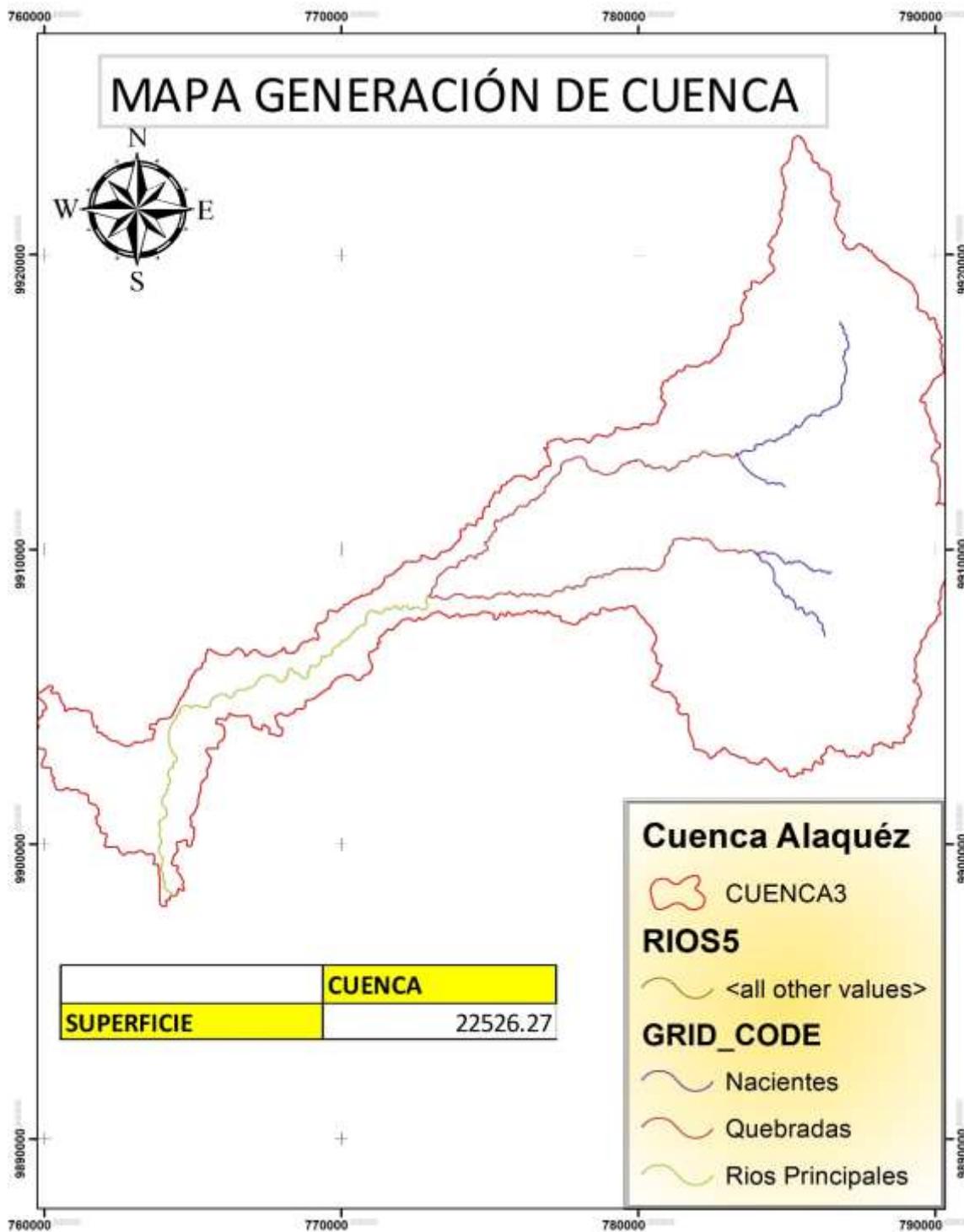
*Elaborado por: (Llasha 2020)*

Anexo N° 11 Mapa hidrográfico de la microcuenca del río alaquez



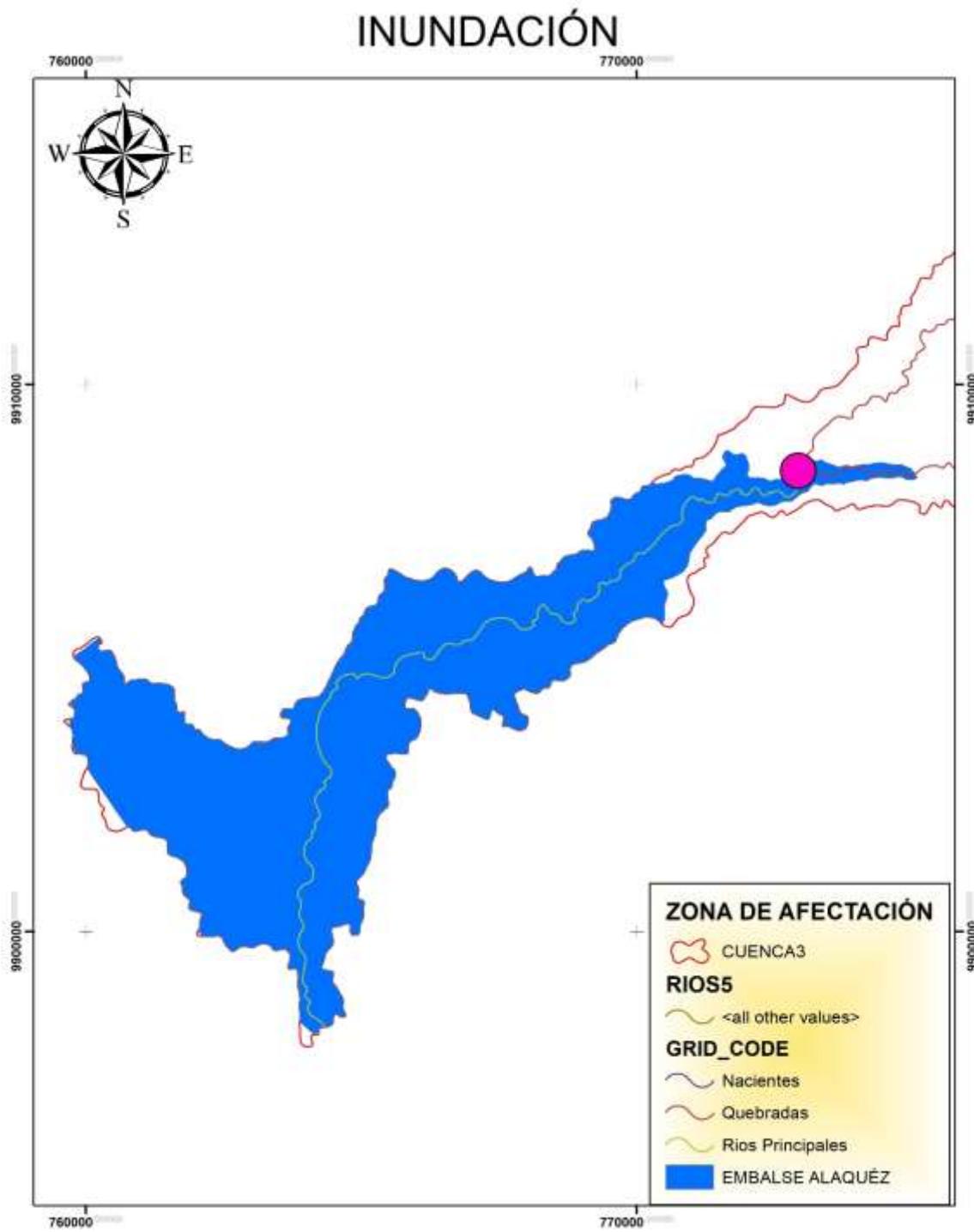
Elaborado por: (Llasha 2020)

**Anexo N° 12 Mapa de los principales afluentes nacientes para la formación del río Alaquez**



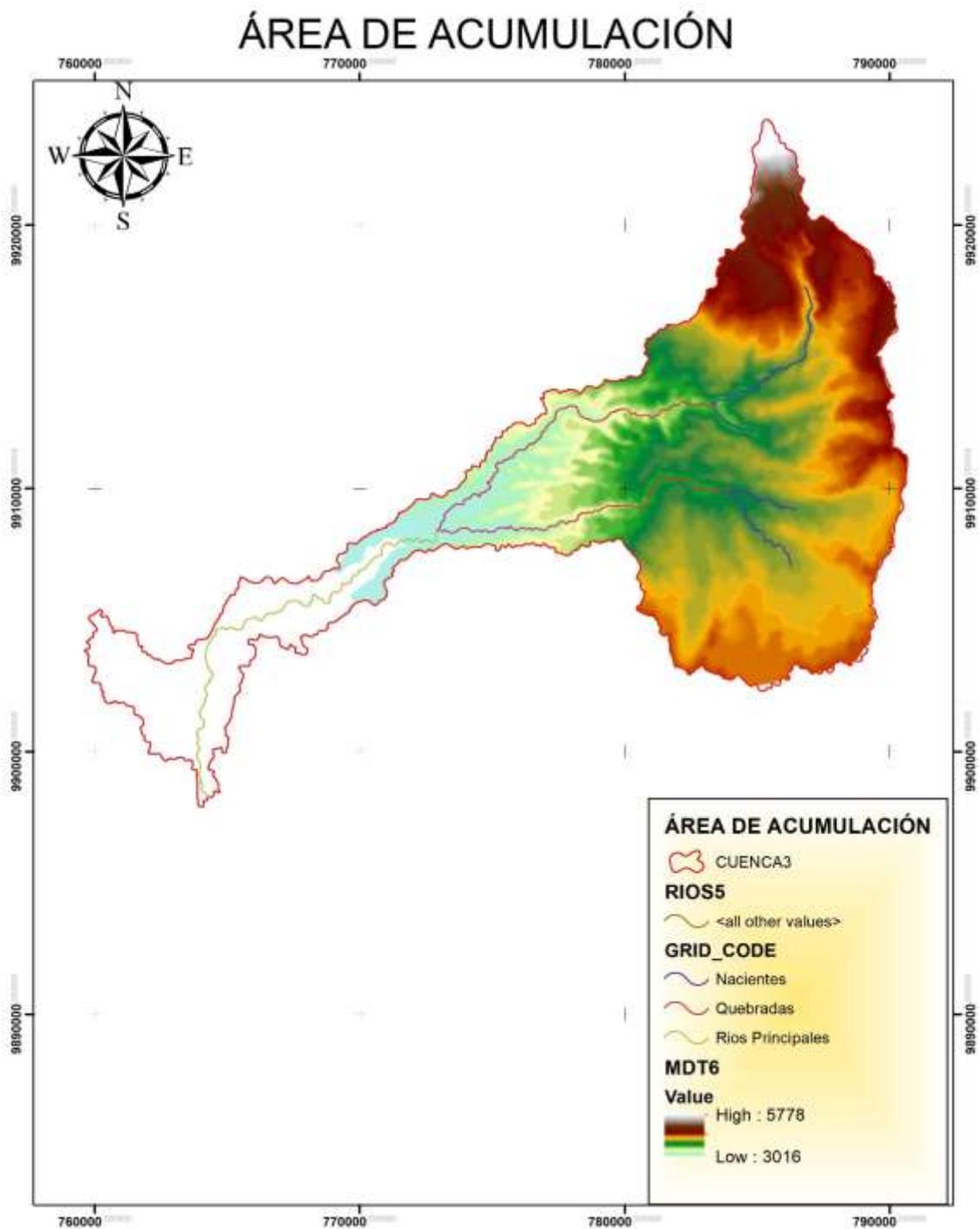
*Elaborado por: (Llasha 2020)*

Anexo N° 13 Mapa área de inundación de la modelación del embalse



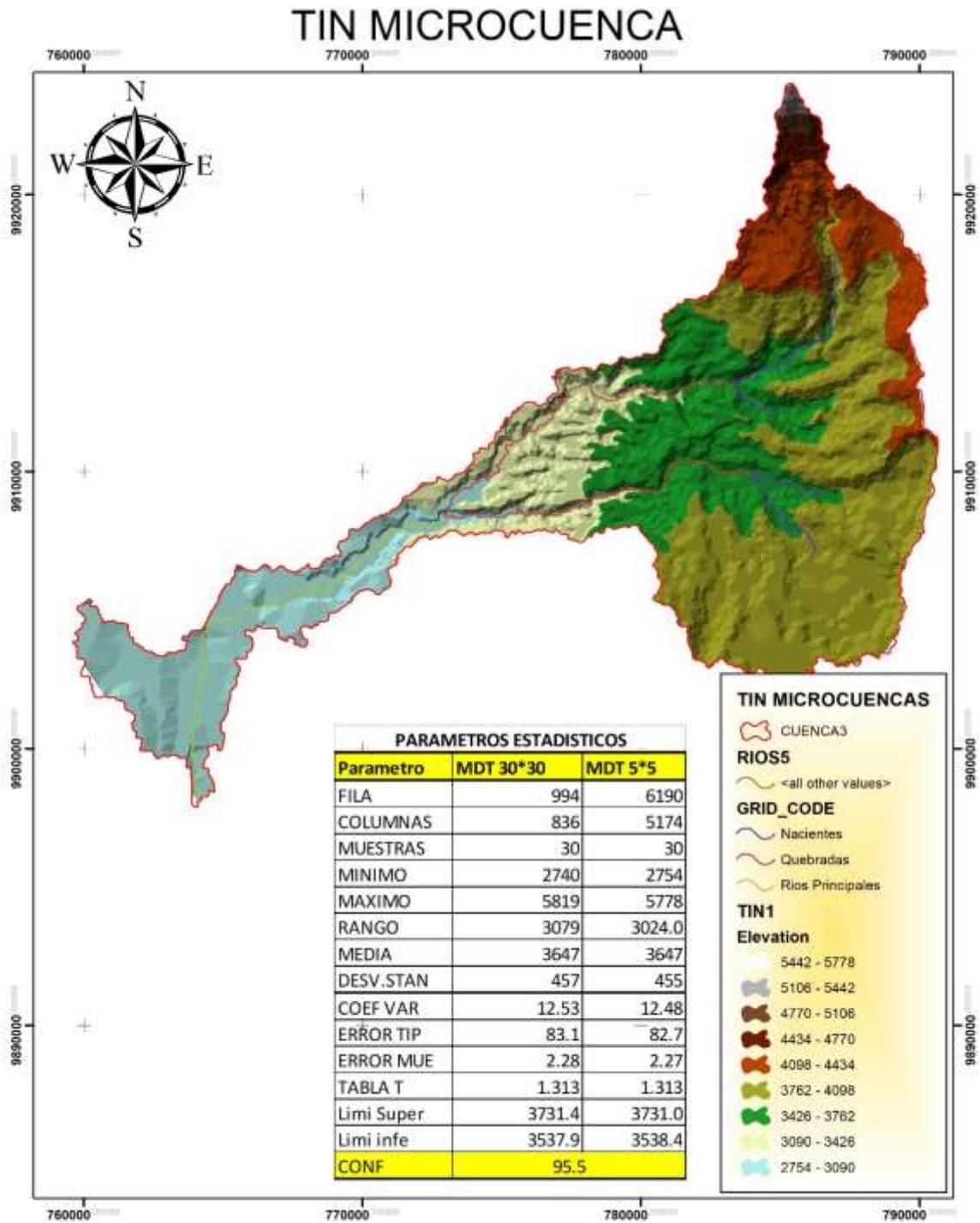
*Elaborado por: (Llasha 2020)*

Anexo N° 14 Mapa área de acumulación de agua que llega a la modelación del embalse



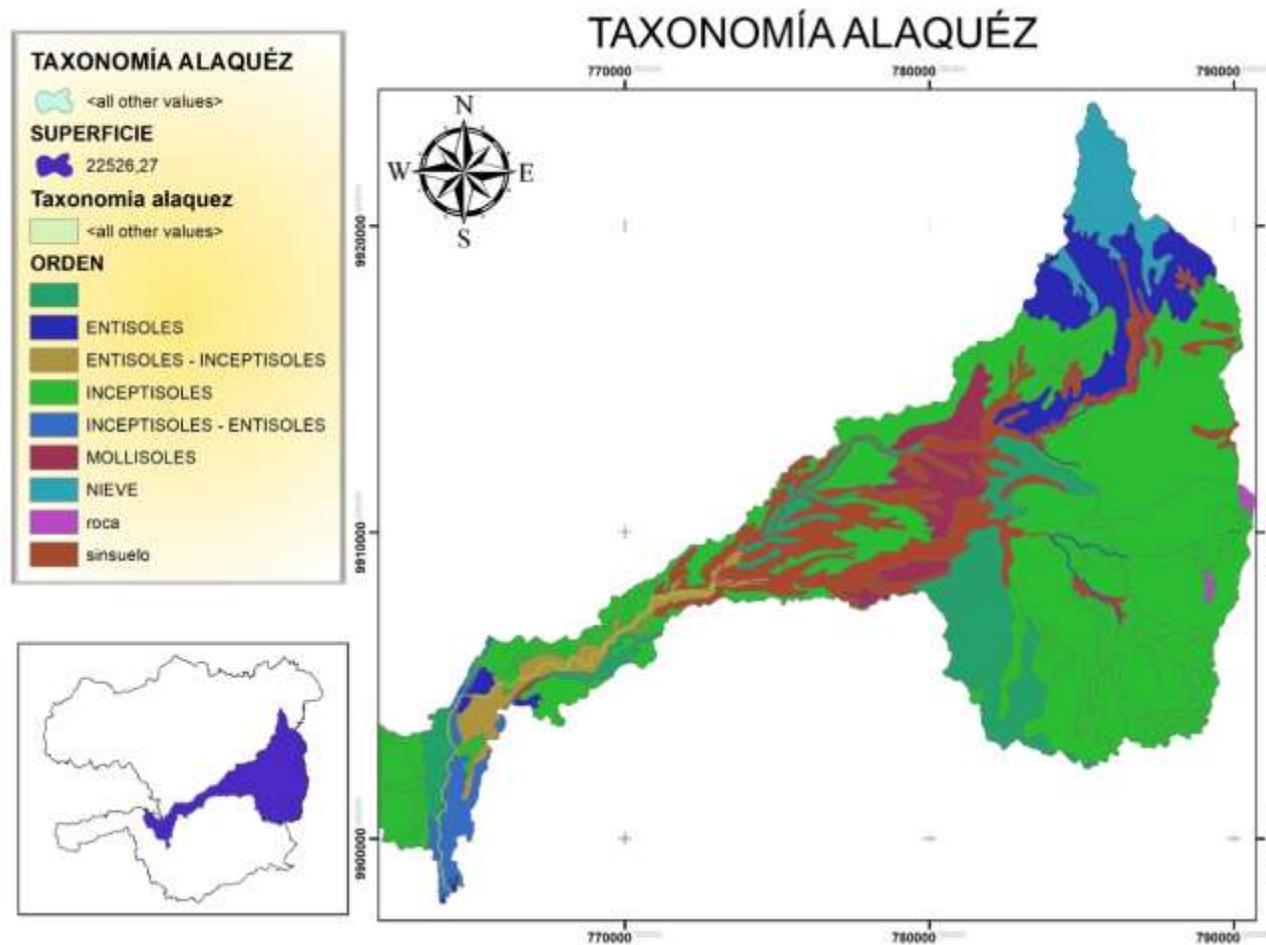
*Elaborado por: (Llasha 2020)*

Anexo N° 15 Mapa de MDT de 5\*5 reducción de pixeles



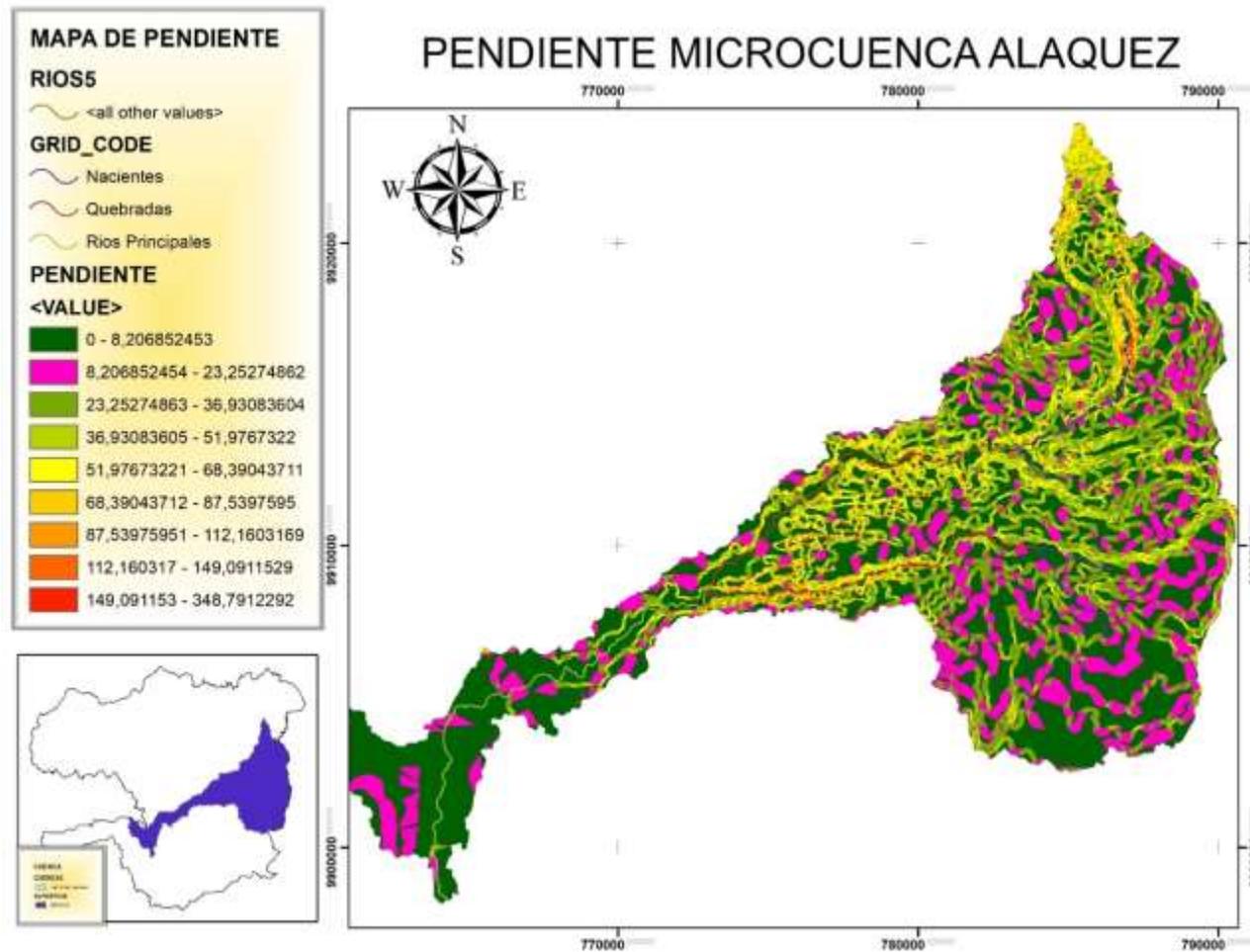
Elaborado por: (Llasha 2020)

Anexo N° 16 Mapa taxonomía en la microcuenca del río Alaquéz



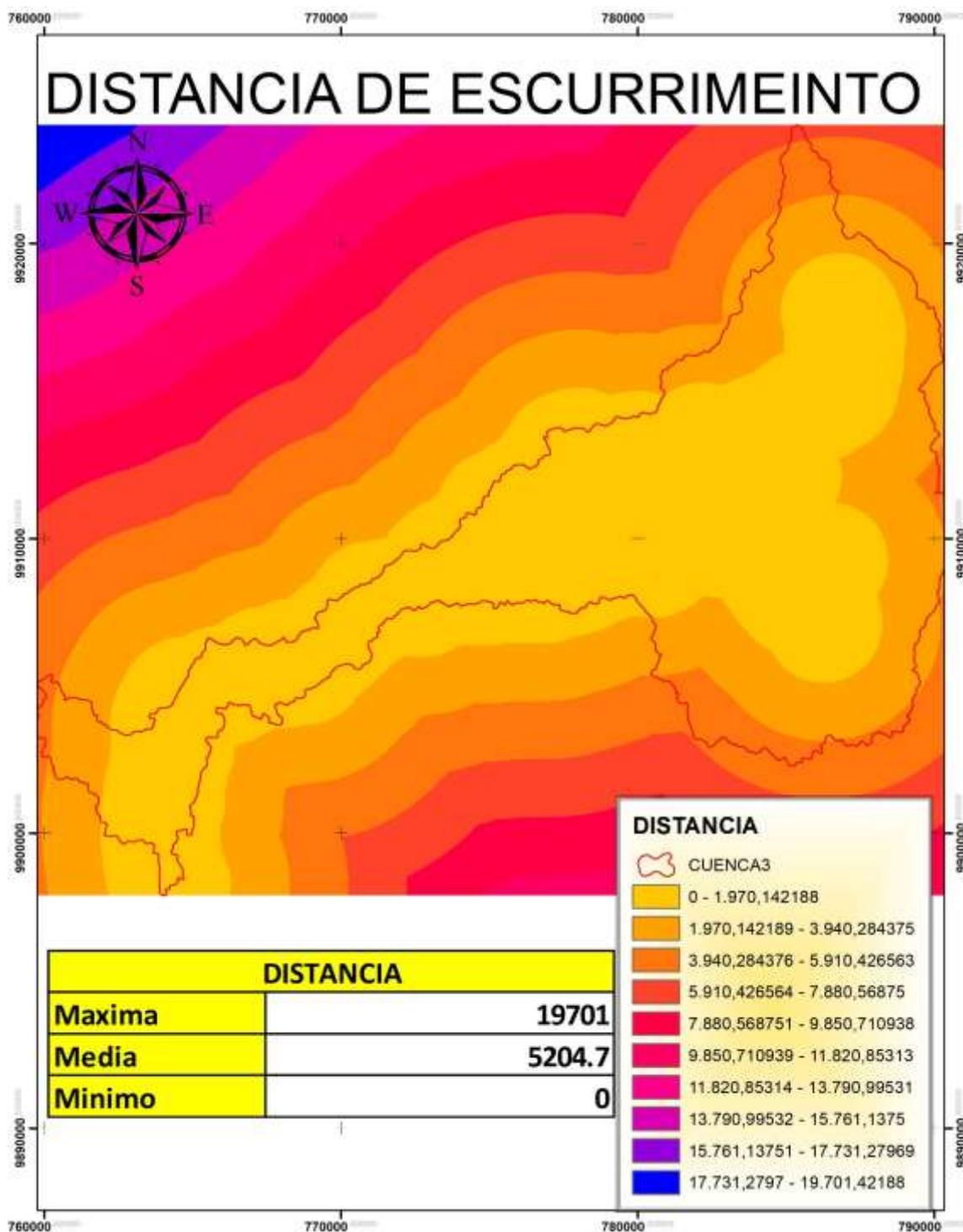
*Elaborado por: (Llasha 2020)*

Anexo N° 17 Mapa de pendientes de la microcuenca del rio Alaquez



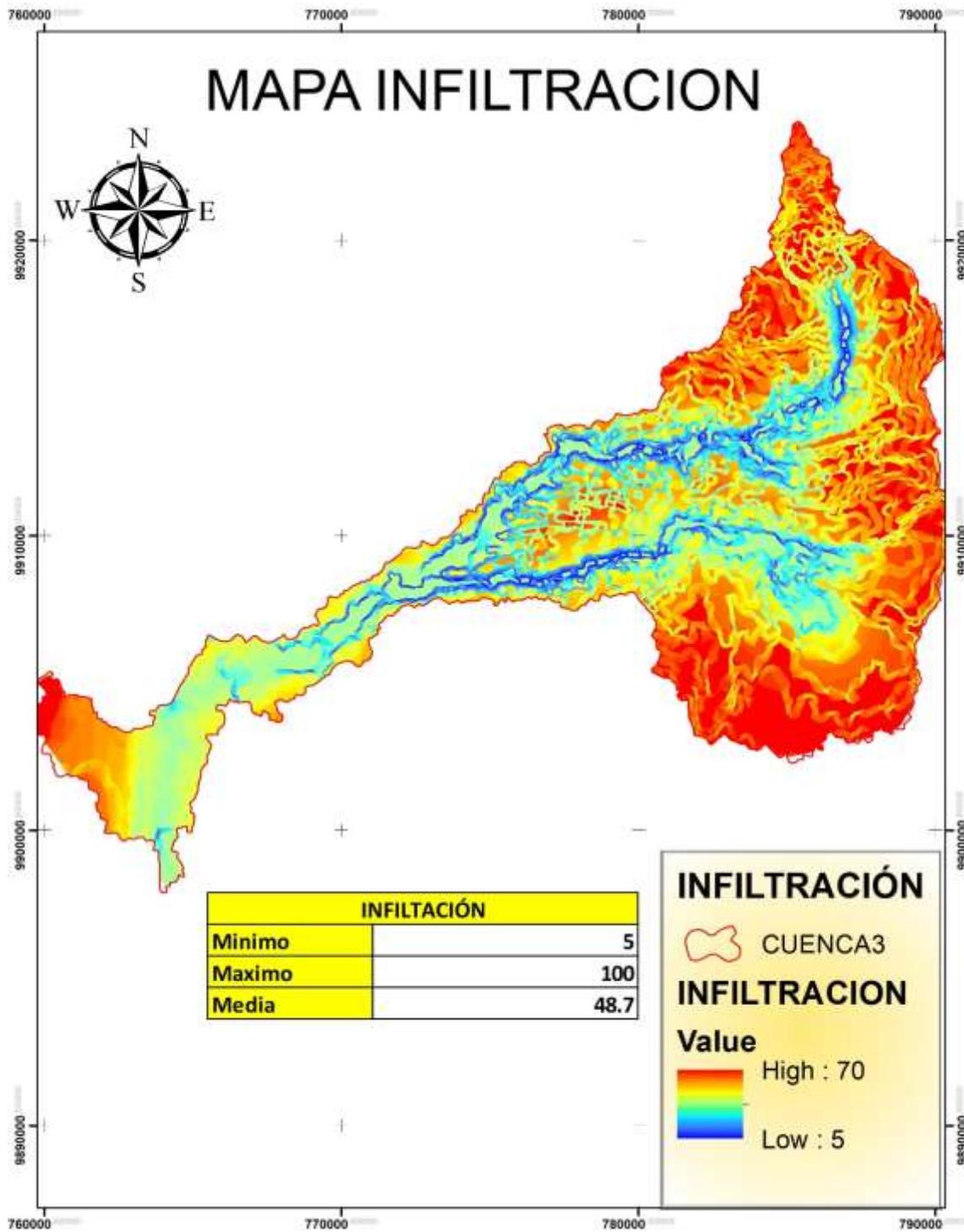
Elaborado por: (Llasha 2020)

Anexo N° 18 Mapa distanciamiento de escurrimiento del agua en razón del estudio



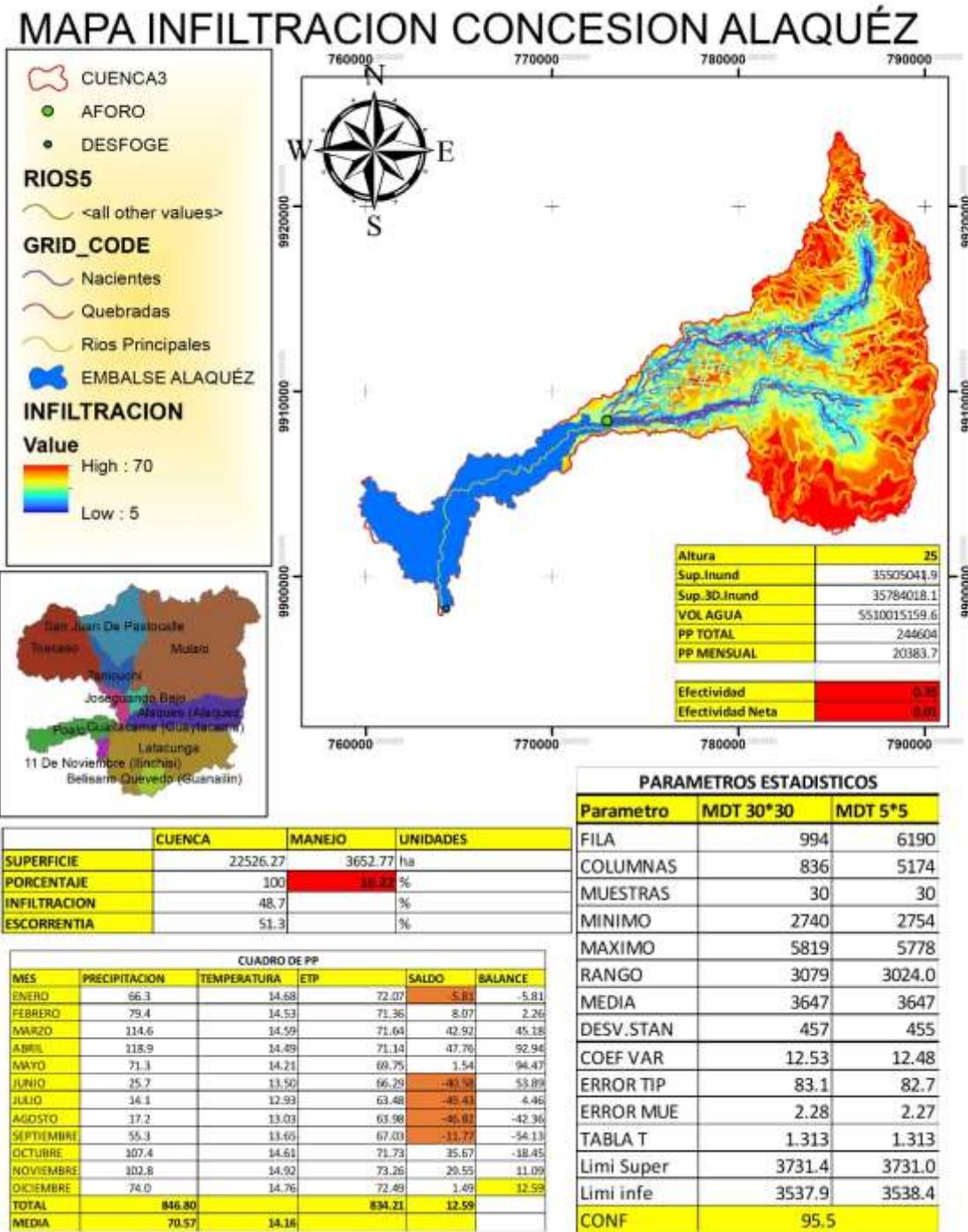
Elaborado por: (Llasha 2020)

Anexo N° 19 Mapa de infiltración de la microcuenca del rio Alaquez



Elaborado por: (Llasha 2020)

Anexo N° 20 Mapa final de la modelación del embalse



Elaborado por: (Llasha 2020)

**Anexo N° 21** Valores del coeficiente único (promedio temporal) del cultivo,  $K_c$  y alturas medias máximas de las plantas para cultivos no estresados y bien manejados en climas sub-húmedos ( $HR_{min} \approx 45\%$ ,  $u_2 \approx 2 \text{ m s}^{-1}$ ) para usar en la fórmula de la FAO Penman-Monteith  $ETo$

Cultivo	$K_{c_{est}}$	$K_{c_{max}}$	$K_{c_{fin}}$	Altura Máx. Cultivo (h) (m)
<b>a. Hortalizas Pequeñas</b>	<b>0,7</b>	<b>1,05</b>	<b>0,95</b>	
Brécol (Brócoli)		1,05	0,95	0,3
Col de Bruselas		1,05	0,95	0,4
Repollo		1,05	0,95	0,4
Zanahoria		1,05	0,95	0,3
Coliflor		1,05	0,95	0,4
Apio (Céleri)		1,05	1,00	0,6
Ajo		1,00	0,70	0,3
Lechuga		1,00	0,95	0,3
Cebolla – seca		1,05	0,75	0,4
– verde		1,00	1,00	0,3
– semilla		1,05	0,80	0,5
Espinaca		1,00	0,95	0,3
Rábano		0,90	0,85	0,3
<b>b. Hortalizas– Familia de la Solanáceas</b>	<b>0,6</b>	<b>1,15</b>	<b>0,80</b>	
Berenjena		1,05	0,90	0,8
Pimiento Dulce (campana)		1,05 <sup>2</sup>	0,90	0,7
Tomate		1,15 <sup>2</sup>	0,70–0,90	0,6
<b>c. Hortalizas– Familia de las Cucurbitáceas</b>	<b>0,5</b>	<b>1,00</b>	<b>0,80</b>	
Melón	0,5	0,85	0,60	0,3
Pepino – Cosechado Fresco	0,6	1,00 <sup>2</sup>	0,75	0,3
– Cosechado a Máquina	0,5	1,00	0,90	0,3
Calabaza de Invierno		1,00	0,80	0,4
Calabacín (zucchini)		0,95	0,75	0,3
Melón dulce		1,05	0,75	0,4
Sandía	0,4	1,00	0,75	0,4
<b>d. Raíces y Tubérculos</b>	<b>0,5</b>	<b>1,10</b>	<b>0,95</b>	
Remolacha, mesa		1,05	0,95	0,4
Yuca o Mandioca – año 1	0,3	0,80 <sup>2</sup>	0,30	1,0
– año 2	0,3	1,10	0,50	1,5
Chirivía	0,5	1,05	0,95	0,4
Patata o Papa		1,15	0,75 <sup>4</sup>	0,6
Camote o Batata		1,15	0,65	0,4
Nabos (Rutabaga)		1,10	0,95	0,6
Remolacha Azucarera	0,35	1,20	0,70 <sup>5</sup>	0,5

**TOMADA DE:**(FAO, 2006)

**Cuadro N°1.- (Continuación)**

e. Leguminosas (Leguminosae)	0,4	1,15	0,55	
Frijoles o judías, verdes	0,5	1,05 <sup>2</sup>	0,90	0,4
Frijoles o judías, secos y frescos	0,4	1,15 <sup>2</sup>	0,35	0,4
Garbanzo (chick pea)		1,00	0,35	0,4
Habas – Fresco	0,5	1,15 <sup>2</sup>	1,10	0,8
– Seco/Semilla	0,5	1,15 <sup>2</sup>	0,30	0,8
Garbanzo hindú	0,4	1,15	0,35	0,8
Caupís (cowpeas)		1,05	0,60-0,35 <sup>4</sup>	0,4
Maní		1,15	0,60	0,4
Lentejas		1,10	0,30	0,5
Guisantes o arveja – Frescos	0,5	1,15 <sup>2</sup>	1,10	0,5
– Secos/Semilla		1,15	0,30	0,5
Soya		1,15	0,50	0,5-1,0
f. Hortalizas perennes (con letargo invernal y suelo inicialmente desnudo o con mantillo)	0,5	1,00	0,80	
Alcachofa	0,5	1,00	0,95	0,7
Espárragos	0,5	0,95 <sup>1</sup>	0,30	0,2-0,8
Menta	0,60	1,15	1,10	0,6-0,8
Fresas	0,40	0,85	0,75	0,2
g. Cultivos Textiles	0,35			
Algodón		1,15-1,20	0,70-0,50	1,2-1,5
Lino		1,10	0,25	1,2
Sisal <sup>6</sup>		0,4-0,7	0,4-0,7	1,5
h. Cultivos Oleaginosos	0,35	1,15	0,35	
Ricino		1,15	0,55	0,3
Canola (colza)		1,0-1,15 <sup>4</sup>	0,35	0,6
Cártamo		1,0-1,15 <sup>4</sup>	0,25	0,8
Sésamo (ajonjolí)		1,10	0,25	1,0
Girasol		1,0-1,15 <sup>4</sup>	0,35	2,0
i. Cereales	0,3	1,15	0,4	
Cebada		1,15	0,25	1
Avena		1,15	0,25	1
Trigo de Primavera		1,15	0,25-0,4 <sup>10</sup>	1
Trigo de Invierno. – con suelos congelados	0,4	1,15	0,25-0,4 <sup>10</sup>	1
– con suelos no-congelados	0,7	1,15	0,25-0,4 <sup>10</sup>	
Maíz, (grano)		1,20	0,60,0,35 <sup>11</sup>	2
Maíz, (dulce)		1,15	1,05 <sup>12</sup>	1,5
Mijo		1,00	0,30	1,5
Sorgo – grano		1,00-1,10	0,55	1-2
– dulce		1,20	1,05	2-4
Arroz	1,05	1,20	0,90-0,60	1

**TOMADA DE:(FAO, 2006)**

Anexo N° 22 Tabla de días julianos

Día	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	agos	sept	oct	nov	dic
1.0	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
2.0	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
3.0	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
4.0	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
5.0	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
6.0	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
7.0	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
8.0	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
9.0	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
10.0	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
11.0	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
12.0	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
13.0	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
14.0	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
15.0	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
16.0	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
17.0	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
18.0	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
19.0	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
20.0	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
21.0	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
22.0	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
23.0	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
24.0	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
25.0	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
26.0	26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360
27.0	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
28.0	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
29.0	29	60	88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
30.0	30	.	89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
31.0	31	.	90	.	151	.	212	243	.	304	.	365

**Anexo N° 23 Abstracción inicial o umbral de escorrentía en mm**

P <sub>o</sub> para humedad previa normal	P <sub>o</sub> para humedad previa seca	P <sub>o</sub> para humedad previa húmeda
3	7	0,5
6	14	1
9	21	2
13	29	3
17	38	5
21	48	7
27	61	10
33	75	13
41	93	17
50	112	21
61	135	27
75	167	33
93	213	41
117	283	50

**Anexo N° 24 Ubicación del punto de aforo**

Nombre	coordenadas			Provincia	Cantón	Parroquia
	x	y	z			
Microcuenca río Alaquez	772854.74	9908389.19	3016	Cotopaxi	Latacunga	Alaquez

*Elaborado por: (Llasha 2020)*

Anexo N° 25 Tabla del llenado de datos faltantes de la estación Saquisilí M0735

PRECIPITACIÓN ( mm)												
SAQUISILI												M0375
AÑO	MESES											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1979	64.7	79.8	89.4	92.7	73.3	45.6	30.5	24.4	43.7	78.0	80.3	13.3
1980	87.7	96.1	22.8	78.6	10.6	6.2	9.4	18.5	48.3	84.1	130.0	71.9
1981	32.7	89.6	134.1	111.8	58.8	39.0	23.7	45.2	17.4	64.4	48.3	66.5
1982	103.9	131.6	58.5	100.0	119.9	0.0	16.0	12.7	25.8	64.1	83.4	141.9
1983	69.5	29.6	78.0	104.7	104.5	8.0	5.2	6.5	18.4	41.7	38.9	61.3
1984	27.0	106.0	114.1	112.3	81.6	18.2	11.8	16.9	75.5	78.0	57.4	53.2
1985	27.8	1.7	4.9	92.7	44.5	13.3	11.0	36.2	27.6	40.4	3.2	33.9
1986	14.8	128.0	127.6	94.9	28.3	20.1	2.4	19.0	11.1	108.6	50.8	28.3
1987	56.9	24.7	34.7	51.3	30.1	5.5	30.5	4.4	32.0	25.3	18.6	7.1
1988	28.3	44.8	9.9	129.1	69.7	24.4	15.9	19.5	53.2	327.5	77.6	60.3
1989	78.7	91.4	100.9	92.7	56.5	66.6	10.3	7.4	52.3	52.5	10.2	18.5
1990	40.5	35.5	45.5	70.0	23.2	26.8	7.8	4.2	17.5	113.7	28.7	75.9
1991	30.5	22.6	115.7	33.8	82.8	35.8	29.8	8.9	87.0	290.3	406.0	320.4
1992	64.7	79.8	89.4	92.7	73.3	10.0	43.2	22.5	40.0	30.0	80.3	75.1
1993	54.6	76.2	156.7	137.1	77.4	12.2	66.5	8.0	87.2	75.9	51.3	135.1
1994	82.0	123.2	119.6	52.0	50.0	41.0	12.0	28.2	31.0	20.0	76.0	124.0
1995	25.0	64.0	55.0	127.0	104.3	28.3	106.7	33.0	14.0	67.0	136.0	87.4
1996	164.0	162.3	134.0	153.5	188.6	89.0	51.0	17.0	13.0	108.0	25.0	28.1
1997	115.8	82.0	94.0	92.7	73.3	45.6	63.0	30.0	99.0	76.0	229.3	68.0
1998	112.0	124.3	104.0	92.7	66.0	106.0	66.0	92.0	62.0	94.0	80.3	61.0

1999	63.7	102.6	102.7	86.0	89.8	80.6	40.8	48.2	181.9	55.0	68.1	149.7
2000	60.8	149.2	121.8	209.9	258.1	156.4	48.7	65.3	147.8	36.0	37.9	75.1
2001	106.5	51.8	107.2	116.2	96.1	94.1	19.8	31.5	63.5	5.6	57.5	94.8
2002	81.1	107.0	167.5	134.2	75.6	46.1	40.8	13.7	15.0	92.9	102.0	90.7
2003	69.6	93.3	61.2	100.9	74.5	88.2	15.0	7.8	22.9	80.9	108.1	69.2
2004	43.4	50.0	58.3	97.7	73.3	28.1	60.5	38.2	59.5	80.9	108.6	103.5
2005	45.8	66.6	185.6	96.9	56.1	84.8	32.0	60.9	23.1	71.5	50.2	99.5
2006	107.1	146.4	142.3	118.1	75.9	74.9	15.3	29.2	27.6	50.0	155.3	93.6
2007	53.3	33.4	142.4	119.8	109.5	74.4	47.6	48.0	21.9	75.1	109.2	118.4
2008	105.5	130.2	141.0	105.1	105.1	79.4	23.0	51.8	27.1	64.0	81.0	49.9
2009	83.7	27.4	25.5	49.6	58.5	51.1	18.2	3.0	11.3	54.5	57.0	7.9
2010	31.0	47.1	44.0	60.0	48.0	84.5	60.0	7.0	20.0	78.0	56.4	131.0
2011	85.2	76.5	41.2	13.2	3.6	21.9	22.8	2.2	14.0	4.8	64.5	13.9
2012	10.2	130.5	65.4	92.7	7.2	8.6	5.7	2.7	43.7	101.1	47.7	20.8
2013	13.1	83.2	56.9	21.5	56.9	45.6	30.5	24.4	43.7	74.3	19.2	20.6
2014	93.0	21.2	57.8	66.2	61.5	18.5	5.6	10.9	36.4	77.3	57.5	32.4
2015	59.2	44.0	98.9	29.0	46.9	9.8	28.1	1.8	0.0	43.1	80.3	75.1
<b>PROMEDI O</b>	<b>64.7</b>	<b>79.8</b>	<b>89.4</b>	<b>92.7</b>	<b>73.3</b>	<b>45.6</b>	<b>30.5</b>	<b>24.4</b>	<b>43.7</b>	<b>78.0</b>	<b>80.3</b>	<b>75.1</b>

*Elaborado por: (Llasha 2020)*

Anexo N° 26 Tabla llenada de datos faltantes de la estación Rumipamba Salcedo M0004 con datos de temperatura

TEMPERATURA MEDIA EN °C												
RUMIPAMBA-SALCEDO												
M0004												
AÑO	MESES											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1976	14.68	14.53	14.59	14.49	13.72	12.81	12.16	12.15	13.75	14.85	14.38	14.94
1977	15.01	14.01	14.45	14.47	14.07	13.49	13.51	13.42	13.89	15.37	15.59	15.41
1978	15.06	15.43	15.08	14.72	14.57	13.23	13.13	12.51	13.97	15.38	15.89	15.64
1979	15.18	14.98	14.85	14.55	14.19	13.66	13.16	13.83	14.22	15.46	15.75	15.44
1980	15.67	15.41	14.66	14.80	15.05	13.80	13.37	13.55	13.88	14.38	14.97	15.27
1981	15.38	14.81	15.01	15.14	14.14	14.19	12.49	13.60	13.50	14.87	15.49	15.30
1982	14.75	15.11	15.45	14.74	14.78	13.76	12.59	12.88	14.14	14.70	15.18	15.05
1983	16.01	14.53	15.51	14.88	13.96	13.86	13.41	13.43	13.38	14.55	15.34	14.21
1984	13.63	13.42	14.24	13.95	13.53	13.09	12.42	13.64	13.65	14.31	13.98	14.44
1985	14.99	13.53	14.89	14.49	14.31	13.13	11.71	12.62	13.55	14.78	14.56	14.53
1986	14.78	14.56	13.89	14.60	14.00	13.27	12.40	13.27	13.48	14.26	14.18	14.76
1987	14.62	14.60	15.06	14.46	14.14	13.97	13.65	13.45	14.26	14.76	15.29	14.73
1988	15.24	15.07	13.87	14.11	13.42	13.32	12.32	12.66	13.20	14.21	14.50	13.49
1989	13.66	13.48	13.73	14.04	13.96	12.57	12.06	12.92	13.48	13.87	15.30	15.26
1990	14.80	14.94	14.68	14.70	14.52	13.54	12.73	12.86	13.85	14.26	14.89	14.48
1991	14.69	14.76	15.16	14.20	14.14	14.38	12.94	11.79	13.73	13.78	14.61	15.34
1992	15.16	14.65	14.76	14.43	14.36	13.52	12.34	13.17	13.56	13.75	14.88	15.11
1993	14.30	14.51	13.60	14.32	14.34	13.84	13.13	13.04	14.16	14.22	15.36	15.17
1994	14.62	14.32	14.70	14.40	14.21	13.36	12.91	12.19	14.03	14.89	14.48	14.73
1995	14.66	15.36	15.22	15.04	14.26	14.40	13.63	13.72	13.69	14.74	14.79	14.24

1996	14.20	13.60	14.67	14.63	14.47	13.31	12.46	12.78	13.79	14.71	15.14	14.77
1997	14.42	14.31	15.17	14.40	14.60	14.54	12.62	12.97	14.15	15.27	14.86	15.06
1998	15.25	15.67	15.72	15.69	13.59	13.52	12.88	13.65	14.12	14.43	15.47	14.93
1999	14.71	13.86	14.36	13.94	13.58	13.35	12.58	12.78	13.24	13.66	15.18	14.52
2000	13.87	13.33	13.58	13.75	14.10	13.24	12.89	12.43	13.17	14.09	15.07	14.30
2001	13.60	14.20	13.90	14.15	14.45	13.15	13.12	12.53	13.58	15.43	14.97	15.40
2002	14.62	15.04	14.65	14.68	14.43	12.94	13.68	12.91	13.85	14.20	13.83	15.07
2003	14.95	14.78	14.58	14.65	14.19	13.43	13.35	13.78	14.19	15.18	14.68	14.37
2004	15.16	14.31	14.93	14.41	14.51	13.20	13.11	12.60	13.61	15.14	15.22	14.96
2005	14.93	15.28	14.31	14.68	14.02	13.84	13.28	13.45	13.91	14.75	14.84	14.12
2006	14.67	14.81	14.05	14.38	14.39	13.10	12.87	12.95	13.17	15.04	14.54	14.64
2007	14.67	14.40	14.23	14.29	13.72	12.92	13.24	12.80	12.52	14.32	14.41	14.11
2008	14.23	13.67	13.84	13.96	14.43	13.36	12.73	12.84	13.40	13.76	14.58	14.31
2009	14.01	14.18	15.04	14.50	15.05	13.62	13.28	13.82	13.79	15.05	15.50	15.41
2010	14.62	15.38	15.18	15.22	14.13	13.48	13.42	12.61	13.31	14.79	14.55	14.00
2011	14.28	14.53	14.38	14.31	13.65	13.79	12.72	13.33	13.18	14.85	14.45	14.13
2012	14.09	13.52	14.00	14.21	14.32	13.54	13.18	12.94	12.83	14.59	14.52	14.43
2013	14.89	14.28	14.49	14.40	14.32	13.79	12.74	13.06	13.47	14.46	15.24	14.74
2014	14.81	15.09	14.49	14.30	14.38	13.37	13.36	12.68	13.29	14.28	15.22	15.02
2015	14.23	15.05	14.63	14.44	14.21	13.37	13.62	13.62	14.15	14.95	15.20	14.73
<b>PROMEDI O</b>	14.68	14.53	14.59	14.49	14.21	13.50	12.93	13.03	13.65	14.61	14.92	14.76

*Elaborado por: (Llasha 2020)*

Anexo N° 27 Tabla de Kc inicial medio y final del cultivo de papa y maiz.

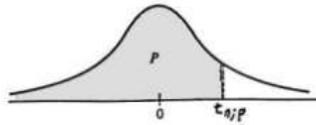
<b>MAÍZ</b>				
	<b>ET<sub>o</sub> (mm/d)</b>	<b>ETC<sub>i</sub> (mm/día)</b>	<b>ETC<sub>m</sub> (mm/día)</b>	<b>ETC<sub>f</sub> (mm/día)</b>
<b>ENERO</b>	<b>2.89</b>	<b>MES DE DESCANSO</b>		
<b>FEBRERO</b>	<b>3.06</b>	<b>1.22</b>	<b>3.52</b>	<b>2.14</b>
<b>MARZO</b>	<b>3.19</b>	<b>1.28</b>	<b>3.67</b>	<b>2.23</b>
<b>ABRIL</b>	<b>3.22</b>	<b>1.29</b>	<b>3.71</b>	<b>2.26</b>
<b>MAYO</b>	<b>3.15</b>	<b>1.26</b>	<b>3.62</b>	<b>2.20</b>
<b>JUNIO</b>	<b>3.08</b>	<b>1.23</b>	<b>3.55</b>	<b>2.16</b>
<b>JULIO</b>	<b>3.10</b>	<b>1.24</b>	<b>3.57</b>	<b>2.17</b>
<b>PAPA</b>				
<b>MAYO</b>	<b>3.15</b>	<b>1.42</b>	<b>3.62</b>	<b>2.68</b>
<b>JUNIO</b>	<b>3.08</b>	<b>1.39</b>	<b>3.55</b>	<b>2.62</b>
<b>JULIO</b>	<b>3.10</b>	<b>1.40</b>	<b>3.57</b>	<b>2.64</b>
<b>AGOSTO</b>	<b>3.24</b>	<b>1.46</b>	<b>3.73</b>	<b>2.76</b>
<b>SEPTIEMBRE</b>	<b>3.28</b>	<b>1.48</b>	<b>3.77</b>	<b>2.79</b>
<b>OCTUBRE</b>	<b>3.16</b>	<b>1.42</b>	<b>3.63</b>	<b>2.68</b>
<b>NOVIEMBRE</b>	<b>2.97</b>	<b>1.34</b>	<b>3.41</b>	<b>2.52</b>
<b>DICIEMBRE</b>	<b>2.86</b>	<b>1.29</b>	<b>3.29</b>	<b>2.43</b>

	<b>KCI</b>	<b>KCM</b>	<b>KCF</b>
<b>Maíz</b>	<b>0.40</b>	<b>1.15</b>	<b>0.70</b>
<b>Papa</b>	<b>0.45</b>	<b>1.15</b>	<b>0.85</b>

*Elaborado por: (Llasha 2020)*

## Anexo N° 28 Tabla T de Student

Distribución  $t$  de Student



La tabla A.4 da distintos valores de la función de distribución en relación con el número de grados de libertad; concretamente, relaciona los valores  $p$  y  $t_{n,p}$  que satisfacen

$$P(t_n \leq t_{n,p}) = p.$$

$n$	$t_{0,55}$	$t_{0,60}$	$t_{0,70}$	$t_{0,80}$	$t_{0,90}$	$t_{0,95}$	$t_{0,975}$	$t_{0,99}$	$t_{0,995}$
1	0,1584	0,3249	0,7265	1,3764	3,0777	6,3138	12,7062	31,8205	63,6567
2	0,1421	0,2887	0,6172	1,0607	1,8856	2,9200	4,3027	6,9646	9,9248
3	0,1366	0,2767	0,5844	0,9785	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8409
4	0,1338	0,2707	0,5686	0,9410	1,5332	2,1318	2,7764	3,7469	4,6041
5	0,1322	0,2672	0,5594	0,9195	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0321
6	0,1311	0,2648	0,5534	0,9057	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074
7	0,1303	0,2632	0,5491	0,8960	1,4149	1,8946	2,3646	2,9980	3,4995
8	0,1297	0,2619	0,5459	0,8889	1,3968	1,8595	2,3060	2,8965	3,3554
9	0,1293	0,2610	0,5435	0,8834	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498
10	0,1289	0,2602	0,5415	0,8791	1,3722	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693
11	0,1286	0,2596	0,5399	0,8755	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058
12	0,1283	0,2590	0,5386	0,8726	1,3562	1,7823	2,1788	2,6810	3,0545
13	0,1281	0,2586	0,5375	0,8702	1,3502	1,7709	2,1604	2,6503	3,0123
14	0,1280	0,2582	0,5366	0,8681	1,3450	1,7613	2,1448	2,6245	2,9768
15	0,1278	0,2579	0,5357	0,8662	1,3406	1,7531	2,1314	2,6025	2,9467
16	0,1277	0,2576	0,5350	0,8647	1,3368	1,7459	2,1199	2,5835	2,9208
17	0,1276	0,2573	0,5344	0,8633	1,3334	1,7396	2,1098	2,5669	2,8982
18	0,1274	0,2571	0,5338	0,8620	1,3304	1,7341	2,1009	2,5524	2,8784
19	0,1274	0,2569	0,5333	0,8610	1,3277	1,7291	2,0930	2,5395	2,8609
20	0,1273	0,2567	0,5329	0,8600	1,3253	1,7247	2,0860	2,5280	2,8453
21	0,1272	0,2566	0,5325	0,8591	1,3232	1,7207	2,0796	2,5176	2,8314
22	0,1271	0,2564	0,5321	0,8583	1,3212	1,7171	2,0739	2,5083	2,8188
23	0,1271	0,2563	0,5317	0,8575	1,3195	1,7139	2,0687	2,4999	2,8073
24	0,1270	0,2562	0,5314	0,8569	1,3178	1,7109	2,0639	2,4922	2,7969
25	0,1269	0,2561	0,5312	0,8562	1,3163	1,7081	2,0595	2,4851	2,7874
26	0,1269	0,2560	0,5309	0,8557	1,3150	1,7056	2,0555	2,4786	2,7787
27	0,1268	0,2559	0,5306	0,8551	1,3137	1,7033	2,0518	2,4727	2,7707
28	0,1268	0,2558	0,5304	0,8546	1,3125	1,7011	2,0484	2,4671	2,7633
29	0,1268	0,2557	0,5302	0,8542	1,3114	1,6991	2,0452	2,4620	2,7564
30	0,1267	0,2556	0,5300	0,8538	1,3104	1,6973	2,0423	2,4573	2,7500
40	0,1265	0,2550	0,5286	0,8507	1,3031	1,6839	2,0211	2,4233	2,7045
50	0,1263	0,2547	0,5278	0,8489	1,2987	1,6759	2,0086	2,4033	2,6778
60	0,1262	0,2545	0,5272	0,8477	1,2958	1,6706	2,0003	2,3901	2,6603
80	0,1261	0,2542	0,5265	0,8461	1,2922	1,6641	1,9901	2,3739	2,6387
100	0,1260	0,2540	0,5261	0,8452	1,2901	1,6602	1,9840	2,3642	2,6259
120	0,1259	0,2539	0,5258	0,8446	1,2886	1,6577	1,9799	2,3578	2,6174
$\infty$	0,126	0,253	0,524	0,842	1,282	1,645	1,960	2,327	2,576

Tabla A.4: Tabla de la distribución  $t$  de Student.

**TOMADO DE:** (Ingrid 2016)