



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

**“Diseño hidroagrícola para el aprovechamiento de la vertiente  
Porotillo para el consumo doméstico y riego de la finca San  
Héctor de la parroquia El Rosario, cantón Chaguarpamba,  
provincia de Loja”**

Trabajo de Titulación previo a la obtención  
del título de Ingeniero Agrícola

AUTOR:

Ricardo Rafael Maldonado Rojas

DIRECTOR:

Ing. Romel Ramón Hurtado, Mg.Sc.

Loja – Ecuador

2024

*Educamos para* **Transformar**

## Certificación

Loja, 20 de septiembre del 2022

Ing. Romel Ramón Hurtado, Mg. Sc  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **“Diseño hidroagrícola para el aprovechamiento de la vertiente Porotillo para el consumo doméstico y riego de la finca San Héctor de la parroquia El Rosario, cantón Chaguarpamba, provincia de Loja”** previo a la obtención del título de **Ingeniero Agrícola**, de la autoría del estudiante **Ricardo Rafael Maldonado Rojas** con **cédula de identidad Nro. 1150284188**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:  
**MANUEL ROMEL**

.....  
**RAMON HURTADO**

Ing. Romel Ramón Hurtado, Mg.Sc.  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **Autoría**

Yo, **Ricardo Rafael Maldonado Rojas**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



**Firma:**

**Cédula de identidad.:** 1150284188

**Fecha:** 28 de noviembre de 2024

**Correo institucional:** [ricardo.maldonado@unl.edu.ec](mailto:ricardo.maldonado@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0989375490

**Carta de autorización por parte del autor, para la consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación**

Yo, **Ricardo Rafael Maldonado Rojas** declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: “**Diseño hidroagrícola para el aprovechamiento de la vertiente Porotillo para el consumo doméstico y riego de la finca San Héctor de la parroquia El Rosario, cantón Chaguarpamba, provincia de Loja**” como requisito para optar por el título de **Ingeniero Agrícola**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los 28 días del mes de noviembre de dos mil veinticuatro.



**Firma:**

**Autor:** Ricardo Rafael Maldonado Rojas

**Cédula:** 1150284188

**Dirección:** Loja, Avenida orillas del Zamora y Nangaritza

**Correo electrónico:** [ricardo.maldonado@unl.edu.ec](mailto:ricardo.maldonado@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0989375490

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Romel Ramón Hurtado, Mg.Sc.

## **Dedicatoria**

Todo mi esfuerzo y lucha constante por alcanzar una de mis más anheladas metas se lo dedico con mucho amor y respeto a mí padre, madre, hermanos, su sacrificio y dedicación han sido la fuerza motriz detrás de mi éxito, a mi Abuela Rosa Victoria Rojas quien siempre quiso que sus nietos fueran profesionales y sean personas preparadas en la vida, yo sé que tengo un ángel en el cielo que me está cuidando, a mi gorda Fara Valentina quien me ha acompañado durante todos estos años de vida universitaria, a mí mismo, por no rendirme nunca. Por creer en mí mismo y en mis sueños. Por trabajar duro y perseguir mis objetivos con pasión y determinación. A todas estas personas que forman parte importante en mi vida les doy gracias por apoyarme incondicionalmente en lo moral, espiritual y económico, muy por encima de las muchas limitaciones, inculcándome en mí la perseverancia y los valores necesarios para finalizar una etapa más de mi vida.

Como dijo Albert Einstein: "Siento una enorme gratitud por todos los que me dijeron 'NO', Gracias a ellos, lo hice yo mismo"

"La educación es el arma más poderosa que puedes usar para cambiar el mundo" – Nelson Mandela.

"La perseverancia es el camino hacia el éxito" – Thomas Edison

"El futuro pertenece a quienes creen en la belleza de sus sueños" – Ernesto Che Guevara

Dedico esta tesis a todos aquellos que han creído en mí y me han apoyado en este viaje. Espero que mi trabajo sea una inspiración para otros y contribuya al avance del conocimiento en mi campo de estudio."

Ricardo Rafael Maldonado Rojas

**Autor**

## **Agradecimiento**

Agradecer primeramente a Dios por darme la vida, fortaleza y la sabiduría para desarrollarme en este campo de la ciencia tan complejo; de igual manera agradecer inmensamente a mis padres que han sido los que me han formado con valores morales y me han sabido apoyar sin condición alguna en todo momento en el trayecto de mi vida.

Agradecer a la Universidad Nacional de Loja, el Área Agropecuaria y de los Recursos Naturales Renovables y la carrera de Ingeniería Agrícola por haberme abierto las puertas y dado la oportunidad de formarme como profesional; a cada uno de los miembros de mi equipo de trabajo por su valioso aporte en sus diferentes campos profesionales, aportando de manera significativa para que este mega proyecto de investigación se lleve a cabo: Ing. Pepe Merino, Ing. Andrés Maldonado, Ing. Temístocles Maldonado Rojas, Arq. Santiago Jiménez, Ing. Jorge Jaramillo; Ing. Jimmy Cordero; al Ing. Romel Ramón por su aporte como Director de Tesis y como docente, así también agradezco a todos los profesores que en su momento fueron quienes colaboraron cada uno en su área con los conocimientos teóricos y prácticos.

Eterna gratitud a todos mis maestros, amigos, compañeros y a todas aquellas personas, testigos de mis triunfos y fracasos.

**Ricardo Rafael Maldonado Rojas**

## Índice de contenidos

<b>Portada.....</b>	<b>i</b>
<b>Certificación .....</b>	<b>ii</b>
<b>Autoría.....</b>	<b>iii</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>v</b>
<b>Agradecimiento .....</b>	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos.....</b>	<b>vii</b>
<b>Índice de Tablas.....</b>	<b>xi</b>
<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice de Anexos.....</b>	<b>xv</b>
<b>1. Título .....</b>	<b>16</b>
<b>2. Resumen.....</b>	<b>17</b>
2.1 Abstract .....	<b>18</b>
<b>3. Introducción .....</b>	<b>19</b>
<b>4. Marco Teórico .....</b>	<b>22</b>
4.1 El enfoque de la Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas (GICH) o de Recursos Hídricos en cuencas hidrográficas (GIRH) .....	<b>22</b>
4.2 Cuenca Hidrográfica .....	<b>22</b>
4.3 División de una Cuenca Hidrográfica .....	<b>23</b>
4.4 Clasificación de una cuenca hidrográfica.....	<b>23</b>
4.5 Manejo de cuencas Hidrográficas .....	<b>24</b>
4.6 Funciones de la Cuenca.....	<b>24</b>
4.7 Microcuenca Hidrográfica .....	<b>26</b>
4.8 La Microcuenca como unidad de planificación .....	<b>26</b>
4.9 Objetivos del enfoque de cuencas .....	<b>27</b>
4.10 Características morfológicas de la cuenca .....	<b>27</b>
4.11 Parámetros morfométricos .....	<b>28</b>

4.12	Clasificación somera de los principales métodos de riego.....	30
4.13	Comparación entre los sistemas de riego más comunes .....	30
4.15	Componentes para instalación de un sistema de riego por aspersión .....	33
4.16	Diseño Agronómico .....	34
4.16.1.	Necesidades de agua de los cultivos .....	34
4.16.2	Evapotranspiración (ET).....	35
4.16.3	Evapotranspiración de referencia (Eto).....	35
4.16.4	Coeficiente de cultivo (Kc).....	35
4.16.5	Evapotranspiración del cultivo (Etc).....	35
4.17	Obras hidráulicas en una cuenca hidrográfica .....	36
4.18	Obras de captación de aguas superficiales .....	36
4.19	Bocatoma caucasiana de fondo .....	37
<b>5.</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>39</b>
5.1	Ubicación del área de estudio .....	39
5.2	Características edafoclimáticas de la Zona de estudio .....	40
5.3	Metodología para el Objetivo 1.....	40
5.3.1	<i>Caracterización de la microcuenca Porotillo.....</i>	<i>40</i>
5.3.2	<i>Delimitación de la microcuenca y elaboración del mapa base y red hídrica .....</i>	<i>41</i>
5.3.3	<i>Parámetros morfométricos de la microcuenca .....</i>	<i>41</i>
5.3.4	<i>Parámetros de Clasificación.....</i>	<i>45</i>
5.3.5	<i>Estimación de la precipitación media mensual de la microcuenca Porotillo .....</i>	<i>46</i>
5.3.6	<i>Estimación del caudal medio .....</i>	<i>47</i>
5.3.7	<i>Estimación de caudales máximos por el método Racional.....</i>	<i>48</i>
5.3.8	<i>Aforo de caudales en la Microcuenca.....</i>	<i>52</i>
5.3.9	<i>Caudal Ecológico.....</i>	<i>52</i>
5.3.10	<i>Curva de duración general o permanencia de caudales .....</i>	<i>52</i>

5.4 Metodología para el Objetivo 2: .....	53
5.4.1 Diseño de la bocatoma con rejilla de fondo .....	54
5.4.2 Cálculo consumo y dotación de agua por habitante .....	59
5.4.3 Diseño de reservorio .....	62
5.4.4 Determinación de las necesidades hídricas de los cultivos .....	62
5.4.5 Propiedades físicas .....	64
5.4.6 Velocidad de infiltración del agua en el suelo .....	65
5.4.7 Constantes hidrofísicas .....	67
5.4.8 Diseño Agronómico .....	67
5.4.9 Diseño hidráulico.....	69
<b>6. Resultados.....</b>	<b>74</b>
6.1 Resultados del primero objetivo.....	74
6.1.1 Parámetros morfométricos de la microcuenca porotillo .....	74
6.1.2 Precipitación media mensual generada en la microcuenca Porotillo.....	75
6.1.3 Curva de duración o permanencia de caudales .....	75
6.1.4 Cálculo del caudal de la microcuenca aplicando el método Racional .....	76
6.2 Resultados del segundo objetivo .....	78
6.2.1 Diseño de la Bocatoma tipo rejilla de fondo .....	78
6.2.2 Calculo del consumo y Dotación de agua .....	82
6.2.3 Diseño del reservorio .....	85
6.2.4 Necesidades hídricas de los cultivos.....	86
6.2.5 Propiedades físicas de suelo.....	89
6.2.6 Diseño agronómico riego por aspersión .....	89
6.2.7 Diseño Hidráulico.....	91
<b>7. Discusión .....</b>	<b>95</b>
<b>8. Conclusiones .....</b>	<b>101</b>

<b>9.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>102</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>103</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>110</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1. Comparación entre los sistemas de riego más comunes .....</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 2. Clasificación del coeficiente de Compacidad o Gravelius .....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 3. Clasificación del relieve de una cuenca de acuerdo a su pendiente.....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 4. Valores de C para estimar el coeficiente de escorrentía C de acuerdo a la textura, uso del uso y pendiente .....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 5. Dotaciones recomendadas .....</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 6. Caudales de diseño para los elementos de un sistema de agua potable .....</b>	<b>61</b>
<b>Tabla 7. Datos del cultivo .....</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 8. Coeficiente de rugosidad absoluta de materiales para la expresión de Hazen-Williams .....</b>	<b>72</b>
<b>Tabla 9. Parámetros morfométricos calculados a través del SIG .....</b>	<b>74</b>
<b>Tabla 10. Aforos volumétricos microcuenca Porotillo .....</b>	<b>78</b>
<b>Tabla 11. Diseño Bocatoma tipo rejilla de fondo .....</b>	<b>79</b>
<b>Tabla 12. Cálculo del consumo y Dotación de agua.....</b>	<b>83</b>
<b>Tabla 13. Valores del diseño hidráulico del reservorio .....</b>	<b>85</b>
<b>Tabla 14. Evapotranspiración del cultivo de referencia.....</b>	<b>86</b>
<b>Tabla 15. Evapotranspiración del cultivo de referencia, coeficiente del cultivo y evapotranspiración del cultivo.....</b>	<b>87</b>
<b>Tabla 16. Precipitación efectiva.....</b>	<b>88</b>
<b>Tabla 17. Evapotranspiración del cultivo, precipitación efectiva y requerimientos de riego para el cultivo de pasto. ....</b>	<b>88</b>
<b>Tabla 18. Propiedades físicas del suelo .....</b>	<b>89</b>
<b>Tabla 19. Diseño Agronómico riego Aspersión .....</b>	<b>89</b>
<b>Tabla 20. Diseño de las tuberías principal, secundaria y laterales de riego .....</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 21. Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel.....</b>	<b>120</b>
<b>Tabla 22. Precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias .....</b>	<b>120</b>
<b>Tabla 23. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias.....</b>	<b>121</b>

<b>Tabla 24. Intensidades de lluvia a partir de Pd .....</b>	<b>121</b>
<b>Tabla 25. Constantes de regresión potencial .....</b>	<b>124</b>
<b>Tabla 26. Regresión Potencial.....</b>	<b>124</b>
<b>Tabla 27. Tabla de intensidades-Tiempo de duración.....</b>	<b>125</b>

## Índice de Figuras

Figura 1. División de una cuenca hidrográfica .....	23
Figura 2. Mapa de ubicación de la zona de estudio, parroquia el Rosario, cantón Chaguarpamba.....	39
Figura 3. Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas alrededor de la microcuenca .....	46
Figura 4. Captación a través de la rejilla al canal de aducción .....	55
Figura 5. Longitud de la rejilla de fondo .....	57
Figura 6. Perfil del canal de aducción.....	58
Figura 7. Cortes transversales del canal de aducción aguas arriba y aguas abajo.....	58
Figura 8. Corte transversal de la cámara de recolección .....	59
Figura 9. Precipitación media mensual de la Microcuenca Porotillo .....	75
Figura 10. Curva de duración de caudales vertiente Porotillo .....	76
Figura 11. Caudales máximos en función de la precipitación .....	77
Figura 12. Diseño de la bocatoma tipo rejilla de fondo con sus respectivas partes y dimensiones, esto representado en vista en planta con sus diferentes cortes .....	80
Figura 13. Implantación de la bocatoma tipo rejilla de fondo en la topografía de la zona .....	81
Figura 14. Diseño de Sección de cámara de recolección e isometrías del tanque .....	82
Figura 15. Perfil de conducción .....	84
Figura 16. Plano del diseño del reservorio.....	86
Fig 17. Coeficiente del cultivo de pasto (Kc).....	87
Figura 18. Modelo del aspersor .....	91
Figura 19. Esquema diseño hidráulico riego por aspersión.....	94
Figura 20. regresión T=2 años .....	122
Figura 21. regresión T=5 años .....	122

<b>Figura 22. regresión T=10 años .....</b>	<b>122</b>
<b>Figura 23. regresión T=25 años .....</b>	<b>123</b>
<b>Figura 24. regresión T=50 años .....</b>	<b>123</b>
<b>Figura 25. regresión T=100 años .....</b>	<b>123</b>
<b>Figura 26. regresión T=500 años .....</b>	<b>124</b>
<b>Figura 27. Constante Regresión potencial años .....</b>	<b>125</b>
<b>Figura 28. Curvas IDF de la cuenca.....</b>	<b>126</b>

## Índice de Anexos

<b>Anexo 1. Especificaciones Técnicas selección tipo de aspersor.....</b>	<b>110</b>
<b>Anexo 2. Datos de precipitación media mensual.....</b>	<b>110</b>
<b>Anexo 3. Aforos volumétricos microcuenca porotillo.....</b>	<b>113</b>
<b>Anexo 4. Levantamiento topográfico captación (punto de interés), conducción .....</b>	<b>114</b>
<b>Anexo 5. Mapa base microcuenca Porotillo .....</b>	<b>115</b>
<b>Anexo 6. Mapa Red hídrica de la microcuenca Porotillo.....</b>	<b>116</b>
<b>Anexo 7. Cálculos correspondientes para el diseño de la bocatoma tipo rejilla de fondo. .....</b>	<b>116</b>
<b>Anexo 8. Estación meteorológica Zaruma_ precipitaciones máximas 24 horas_ .....</b>	<b>119</b>
<b>Anexo 9. Cálculos correspondientes, obtención del caudal por el método racional (Intensidad máxima de precipitación) .....</b>	<b>119</b>
<b>Anexo 10. Cálculos correspondientes al consumo y dotación de agua para consumo humano.....</b>	<b>126</b>
<b>Anexo 11. Caudales medios mensuales estación meteorológica Zaruma.....</b>	<b>127</b>
<b>Anexo 12. Mapas de precipitación media mensual de la microcuenca Porotillo .....</b>	<b>128</b>
<b>Anexo 13. Mapa Levantamiento topográfico: punto de interés, conducción y almacenamiento.....</b>	<b>129</b>
<b>Anexo 14. Certificación de traducción del Resumen (Abstract).....</b>	<b>130</b>

## **1. Título**

**“Diseño hidroagrícola para el aprovechamiento de la vertiente Porotillo para el consumo doméstico y riego de la finca San Héctor de la parroquia El Rosario, cantón Chaguarpamba, provincia de Loja”**

## 2. Resumen

El presente proyecto de investigación tuvo como propósito determinar la cantidad de agua existente en la vertiente Porotillo, así como abordar el problema del desperdicio del agua en un 80 % en los predios de la finca San Héctor, las Huacas. Para lo cual, se diseñó una infraestructura de captación acorde a las condiciones del terreno. Los objetivos de esta investigación incluyen la caracterización de la microcuenca Porotillo en sus aspectos morfológicos y el diseño de una infraestructura hidráulica para la captación, conducción, almacenamiento y distribución del agua de la vertiente. La metodología empleada consistió en realizar un levantamiento topográfico desde el punto de interés hasta la zona de almacenamiento. Se utilizó una estación total y un GPS diferencial, estos datos fueron procesados para crear el MDT y calcular los parámetros morfométricos. Para determinar la precipitación media, se realizó una interpolación de cuatro estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio (El Prado, El Salado, Chaguarpamba, Buena Vista), con series temporales de precipitación de 15 años (1990-2005), utilizando el método de las isoyetas. El caudal se calculó mediante el método racional basados en el área, precipitación media y el coeficiente de escorrentía. En cuanto al diseño de la infraestructura hidráulica, se optó por diseñar una bocatoma tipo caucasiana o rejilla de fondo, que permitió diseñar la captación, la conducción de la tubería de polietileno y el reservorio de almacenamiento de  $102 \text{ m}^3$ , con una pendiente media del 52,9%. El área de estudio corresponde a un clima cálido, con una precipitación que varía desde 277 mm en el mes de marzo y de 0.85 mm en el mes de agosto. De esta manera se pudo determinar el caudal máximo de  $3.45 \text{ m}^3/\text{s}$  de la microcuenca, contribuyendo a la planificación de obras de infraestructura hidráulica de regulación, almacenamiento y distribución para consumo doméstico y riego.

### **Palabras Clave**

Microcuenca, parámetros morfométricos, vertiente, aprovechamiento de agua, infraestructura hidráulica, Diseño hidroagrícola, bocatoma.

## 2.1 Abstract

The purpose of this research project was to determine the amount of water in the Porotillo watershed, as well as to address the problem of high water 80% waste in the San Héctor farm, Las Huacas sector. For this purpose, a catchment infrastructure was designed according to the conditions of the terrain. The objectives of this research include the characterization of the morphological aspects of the Porotillo micro-watershed and the design of a hydraulic infrastructure for the catchment, conduction, storage and distribution of water from the spring. The methodology used consisted of a topographic survey from the point of interest to the storage area. A total station and a differential GPS were used, these data were processed and taken to the GIS to delimit the microbasin and calculate the morphometric parameters. To determine the average precipitation, an interpolation of four meteorological stations near the study area was performed with 15-year precipitation time series (1990-2005), using the isohyet method. The flow was calculated using the rational method based on area, precipitation intensity and runoff coefficient. Regarding the design of the hydraulic infrastructure, a bottom grate type intake was chosen. A 3D modeling program was used to design the intake, the polyethylene pipe conduction and the 5,000-liter storage reservoir. The results showed that because of its small area and elongated shape, it is considered a micro-watershed, with an average slope of 52.9%. The study area corresponds to a warm climate, with precipitation that varies from 277 mm in March to 0.86 mm in August. Thus, it was possible to determine the flow of 3.45 m<sup>3</sup>/s of the microbasin, contributing to the planning of hydraulic infrastructure works for regulation, storage and distribution for domestic consumption and irrigation.

### Key words

Microbasin, morphometric parameters, watershed, water use, hydraulic infrastructure, hydro-agricultural design, water intake.

### 3. Introducción

En los últimos años, Ecuador ha experimentado un déficit de agua en determinadas zonas, debido al cambio climático y debido a la creciente demanda y la falta de obras de infraestructura para su aprovechamiento (SENAGUA, 2016). Ecuador posee a nivel nacional un volumen de 376 km<sup>3</sup> de recursos hídricos, lo que significa 26 000 m<sup>3</sup> per cápita, pero estos recursos también tienen una distribución desigual tanto temporal como espacial, con fuertes precipitaciones en la época lluviosa y con ausencia de éstas en temporada seca, y con mayores precipitaciones al este en comparación con el centro y el oeste (SENAGUA, 2016). Debido a la distribución espacio-temporal irregular y el cambio climático, a menudo se producen inundaciones y sequías en todo el país, afectando a las poblaciones, las ciudades, las tierras agrícolas, particularmente a las que requieren de riego. Estos factores limitan el desarrollo económico y social, especialmente en años con bajo caudal o de sequía continua, hay un conflicto evidente entre suministro y consumo de agua (SENAGUA, 2016).

Situación que en la actualidad no ha variado mucho, según (Chango, 2013), para poder competir en el mercado internacional, el gobierno destina más agua a cosechas con fines de exportación. Sin embargo, la producción de alimentos destinados al consumo nacional a la que se dedican pequeños agricultores, cuenta con una cantidad mucho más baja para el riego”. Esta inequidad junto con la situación en cuanto a la producción de alimentos, se vuelve todavía más compleja, con la disminución del recurso hídrico, la contaminación creciente del agua, los bajos niveles de tecnificación, falta de eficiencia en el uso y aprovechamiento de agua, la debilidad de las organizaciones e instituciones encargadas de la administración, operación y mantenimiento de la infraestructura de riego ahondan los graves problemas sociales y de pobreza en el campesinado (SENAGUA, 2016).

El factor que más limita la producción y la productividad agropecuaria en la provincia de Loja es sin duda, no disponer de agua con regularidad a lo largo del año por lo que se hace urgente enfrentar este problema y solucionar su escasez en épocas de estiaje, controlando los flujos extremos que se presentan en la vertiente en época invernal, esto podría ser mediante la construcción de obras hidroagrícolas que dotarían de agua a zonas con gran potencial productivo y regular caudales significativos en los cauces (OEA,2000) . Esto permitirá el abastecimiento del servicio de agua para consumo humano. La importancia de identificar las necesidades y problemas en este eje radica en el esquema hidráulico que considera datos básicos como: volúmenes y/o caudales de agua, las áreas de riego y la ubicación de las obras, esto es necesario para el diseño de las diferentes estructuras hidráulicas (Olazábal et al., 2021).

Por otro lado, la falta de un plan integral para el manejo de los recursos hídricos en los predios agrícolas ha provocado daños significativos en los sectores productivo, particularmente las zonas rurales (Solanes y Getches, 1998).

La zona de estudio se encuentra en la Parroquia el Rosario, se caracteriza por tener una variedad de climas y tipos de suelo, con presencia de erosión constante. La producción agrícola de algunos productos relevantes como el cultivo de tabaco, cítricos, café, caña, piña y pastos mejorados y producción pecuaria caracterizada por la ganadería, cría de cerdos, peces y aves de corral sustenta la economía familiar y generan ingresos económicos (GAD El Rosario, 2015). Se evidencia también que la mayoría de los pobladores de la parroquia dedicados al trabajo de fincas, viven en condiciones de pobreza, sin alternativas económicas para su desarrollo.

Por eso resulta de interés obtener información sobre la cantidad de agua disponible de la vertiente Porotillo, esto con la finalidad de buscar la manera de implementar sistemas hidroagrícolas para uso doméstico y de riego, tratando de dar también solución a los tantos problemas que enfrentan los habitantes. El principal problema es que el agua proveniente de esta vertiente no se la ha utilizado nunca, por consiguiente, se ha estado desperdiciando diariamente todo este tiempo; por lo cual con este estudio se busca implementar obras hidroagrícolas para el aprovechamiento de la misma. La distribución del agua de la vertiente Porotillo no beneficia a todos los terrenos del lugar, lo que provoca pérdidas económicas para el resto de las familias, lo que es sustentado por (Rodríguez et al., 2020).

De la importancia y la aplicabilidad de realizar este tipo de estudios en el campo del diseño hidroagrícola se puede evidenciar en el trabajo realizado por Yépez (2020), donde llevó a cabo un diseño hidráulico y estructural de la captación tipo caucásica o de fondo, junto a obras complementarias de disipación de energía y protección de la quebrada, con desarenador de una sola cámara y canal de desvío, tanque de carga y conducción para un caudal de aprovechamiento de 12 l/s provenientes de la quebrada La Retraída, ubicada en la parroquia de Pumbo al noroccidente de la ciudad de Quito. Estos estudios demuestran la relevancia de las investigaciones.

Por lo antes expuesto, el estudio del aprovechamiento en la parroquia El Rosario de la vertiente Porotillo mediante la planificación de obras de infraestructura hidráulica de regulación, almacenamiento y distribución para consumo doméstico y riego sería de gran pertinencia. El proyecto se enmarca en el núcleo de conocimientos de la carrera de Ingeniería

Agrícola que es Los Recursos Suelo y Agua con fines de Riego y Drenaje; y, en la línea de investigación de la Universidad Nacional de Loja denominado Sistemas de Producción Agropecuaria para la Soberanía Alimentaria. Para cumplir con lo señalado, se plantean los siguientes objetivos.

**Objetivo general**

Contribuir al aprovechamiento del recurso hídrico disponible en los predios agrícolas de la parroquia El Rosario del Cantón Chaguarpamba con la implementación de sistemas de agua para uso doméstico y riego.

**Objetivos específicos**

Caracterizar la microcuenca Porotillo en sus aspectos morfológicos e hidráulicos con fin de aprovechamiento del recurso hídrico.

Diseñar la infraestructura hidráulica para la captación, conducción, almacenamiento y distribución del agua de la vertiente Porotillo de la Finca San Héctor.

## **4. Marco Teórico**

### **4.1 El enfoque de la Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas (GICH) o de Recursos Hídricos en cuencas hidrográficas (GIRH)**

Representa actualmente el escaño superior en la evolución de la concepción tradicional de aprovechar en forma parcelada o sectorial los recursos hídricos (sesgada a determinados usos del territorio) para encarar el análisis, ordenamiento, participación y gestión en forma integrada de una fracción del territorio bien definida que funciona como un complejo sistema de interrelaciones entre naturaleza, la sociedad y economía. En última instancia bajo este enfoque se hace explícito que la planificación, gestión y desarrollo de los recursos hídricos “no resiste” más acciones aisladas, independientes, inconexas o descoordinadas para evolucionar hacia una planificación, gestión y desarrollo integrado capaz de equilibrar (o tender a ello) requerimientos ambientales, sociales, culturales y económicos (Romero, 2013, p.68).

### **4.2 Cuenca Hidrográfica**

La cuenca es el espacio del territorio en el cual naturalmente discurren todas las aguas (aguas provenientes de precipitaciones, de deshielos, de acuíferos, etc. Que discurren por cursos superficiales o ríos) hacia un único lugar o punto de descarga (que usualmente es un cuerpo de agua importante tal como un río, un lago o un océano). El ámbito de la cuenca hidrográfica es un espacio territorial natural independiente de las fronteras político-administrativas internas de un país o de fronteras internacionales (Núñez, 2011, p.57).

“Una cuenca hidrográfica es delimitada por una divisoria de aguas. El uso de estos recursos naturales se regula administrativamente separando el territorio por cuencas hidrográficas, y con miras al futuro las cuencas hidrográficas se perfilan como las unidades de división funcionales con más coherencia, permitiendo una verdadera integración social y territorial por medio del agua (Ambuludi, 2016, p.115).

“Las cuencas hidrográficas son unidades morfológicas que se encuentran delimitadas por una línea imaginaria denominada divisoria de aguas, esta línea es el límite entre las cuencas hidrográficas contiguas de dos cursos de agua. A cada lado de la divisoria de aguas, las aguas precipitadas acaban siendo recogidas por el río principal de la cuenca respectiva” (Gutiérrez, 2019, p.68).

### 4.3 División de una Cuenca Hidrográfica

Ambuludí (2016), menciona que una cuenca hidrográfica se divide en secciones, las mismas que contribuyen al análisis individualizado de las partes, caracterizando los impactos naturales o antrópicos generados a lo largo de la cuenca hidrográfica Figura 1; dividiéndose así:

Cuenca alta: corresponde a la parte superior de las áreas montañosas limitadas en su parte superior por las líneas divisorias de aguas.

Cuenca media, que comprende las zonas de pie de monte y valles bajos, donde el río principal mantiene un cauce definido.

Cuenca baja o zonas transicionales (como los estuarios o humedales), donde el curso de agua divaga o desaparece.



**Figura 1.** División de una cuenca hidrográfica

**Fuente:** Eoearth 2012, adaptado por Ordoñez 2011)

### 4.4 Clasificación de una cuenca hidrográfica

Según Araque (2019) las cuencas hidrográficas se pueden clasificar de diferentes formas. A continuación, se presenta la clasificación de cuencas hidrográficas considerando los parámetros geomorfológicos más utilizados. Sin embargo, las clasificaciones se pueden modificar dependiendo del propósito de las mismas, una clasificación útil para un proyecto de abastecimiento de agua puede ser improductivo para un proyecto de preservación ambiental. Clasificándolas de la siguiente manera:

#### **Por su tamaño**

- Cuenca muy grande: superficie mayor a 5000 km<sup>2</sup>.
- Cuenca grande: superficie en un rango de 2500 km<sup>2</sup> a 5000 km<sup>2</sup>.
- Cuenca intermedia grande: superficie en un rango de 500 km<sup>2</sup> a 2500 km<sup>2</sup>.
- Cuenca intermedia pequeña: superficie en un rango menor de 25 km<sup>2</sup>.

- Cuenca pequeña: superficie en un rango de 25 km<sup>2</sup> a 250 km<sup>2</sup>.
- Cuenca muy pequeña: superficie en un rango menor de 25 km<sup>2</sup>.

#### **Por el sitio de desembocadura**

- Cuenca endorreica: punto de salida de las aguas superficiales se encuentra dentro de la misma cuenca
- Cuenca exorreica: punto de salida de las aguas superficiales es un río principal que desemboca en el océano
- Cuenca arreica: cuya agua no desemboca en cuerpos de agua el agua se filtra en el subsuelo o se evapora.

#### **Por su uso**

- Para abastecimiento de agua potable.
- Agua para riego.
- Agua para navegación.

Considerando esta clasificación es importante resaltar que para nuestra zona de estudio se utilizará la clasificación por su tamaño, al ser una microcuenca muy pequeña.

### **4.5 Manejo de cuencas Hidrográficas**

“El manejo de cuencas es una ciencia o arte que trata de lograr el uso apropiado de los recursos naturales en función de la intervención humana y sus necesidades, propiciando al mismo tiempo la sostenibilidad, la calidad de vida, el desarrollo y el equilibrio medioambiental” (Faustino et al., 2000).

Descripción de MICH ( Manejo Integrado de las Cuencas Hidrográficas), del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF): El WWF describe el manejo integrado de las cuencas hidrográficas como el proceso de coordinar la conservación, el manejo y el desarrollo de los recursos del agua y las tierras y los recursos conexos en todos los sectores dentro de una cuenca hidrográfica determinada, a fin de maximizar los beneficios económicos y sociales derivados de los recursos hídricos de una forma equitativa, preservando al mismo tiempo, cuando sea necesario, la restauración de los ecosistemas de agua dulce (Becerra et al., 2019).

### **4.6 Funciones de la Cuenca**

De acuerdo con Aguirre (2007) los procesos de los ecosistemas que describen el intercambio de materia y flujo de energía a través de la vinculación de los elementos estructurales del ecosistema pueden ser vistos como un sistema: Dentro de la cuenca, se tienen

los componentes hidrológicos, ecológicos, ambientales y socioeconómicos, cuyas funciones se describen a continuación:

### **Función Hidrológica**

- Captación de agua de las diferentes fuentes de precipitación para formar el escurrimiento de manantiales, ríos y arroyos.
- Almacenamiento del agua en sus diferentes formas y tiempos de duración.
- Descarga del agua como escurrimiento.

### **Función Ecológica**

- Provee diversidad de sitios y rutas a lo largo de la cual se llevan a cabo interacciones entre las características de calidad física y química del agua.
- Provee de hábitat para la flora y fauna que constituyen los elementos biológicos del ecosistema y tienen interacciones entre las características físicas y biológicas del agua

### **Función Ambiental**

- Constituyen sumideros de CO<sub>2</sub>.
- Alberga bancos de germoplasma.
- Regula la recarga hídrica y los ciclos biogeoquímicos.
- Conserva la biodiversidad.
- Mantiene la integridad y la diversidad de los suelos

### **Función Socioeconómica.**

- Suministra recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas que dan sustento a la población.
- Provee de un espacio para el desarrollo social y cultural de la sociedad.

### **Servicios Ambientales**

- **Del flujo hidrológico:** usos directos (agricultura, industria, agua potable, etc), dilución de contaminantes, generación de electricidad, regulación de flujos y control de inundaciones, transporte de sedimentos, recarga de acuíferos, dispersión de semillas y larvas de la biota.
- **De los ciclos bioquímicos:** almacenamiento y liberación de sedimentos, almacenaje y reciclaje de nutrientes, almacenamiento y reciclaje de materia orgánica y absorción de contaminantes.

- **De la Producción biológica:** creación y mantenimiento de hábitat, mantenimiento de la vida silvestre, fertilización y formación de suelos.
- **De la descomposición:** procesamiento de la materia orgánica, procesamiento de desechos humanos.

#### **4.7 Microcuenca Hidrográfica**

Las microcuencas como área de planificación y acción permiten planificar de forma integrada las acciones de recuperación y conservación de los recursos naturales (suelos, aguas, bosques y biodiversidad), como resultado del cambio de actitud de las comunidades que pasan a considerarse parte de la naturaleza y no sus dominadores (FAO, 2007, p.50).

Una microcuenca hidrográfica, al igual que la cuenca, es una unidad física determinada por la línea divisoria de las aguas, que delimita los puntos desde los cuales toda el agua escurre hacia el fondo de un mismo valle, río, arroyo o vegas. Al unirse el caudal y superficie drenada de varias microcuencas, se conforman las cuencas hidrográficas de mayor tamaño (Yáñez et al., 2017, p.114).

Sin embargo, es necesario considerar que una cuenca hidrográfica de mayor tamaño es más compleja desde el punto de vista geomorfológico y de los sistemas agrícolas predominantes. Esta condición puede dificultar la planificación y la ejecución de prácticas conservacionistas por los agentes de extensión (Muñoz, 2007, p.93).

#### **4.8 La Microcuenca como unidad de planificación**

Considerar la microcuenca como unidad de planificación/intervención, en términos de gestión simultánea de sus aspectos económicos, sociales y ambientales presenta ventajas de las cuales se destacan (FAO, 2007, p.52).

- La posibilidad de proceder a la planificación y administración adecuada e integral de los recursos naturales (La escala de los problemas de naturaleza ambiental — preservación y conservación de recursos forestales, bosques ribereños, suelo, laderas, arroyos, manantiales, flora y fauna— supera la dimensión de la parcela del agricultor, tornando necesaria la acción colectiva alrededor de objetivos comunes y precisos).
- La existencia de condiciones geosociales favorables a la organización comunitaria (Cabe señalar que la microcuenca se enfoca como un elemento geosocial donde existe un componente geohidrológico y un componente socioeconómico que lleva a considerar al ser humano como elemento clave en el proceso de planificación).

#### 4.9 Objetivos del enfoque de cuencas

- Desarrollar una conciencia conservacionista, promoviendo el uso y manejo adecuado y sostenible de los recursos naturales.
- Fortalecer y equilibrar las relaciones sociales y comerciales con el empoderamiento local.
- Apoyar a las comunidades para la seguridad alimentaria e hídrica, garantizando modos de vida sostenibles. Algunos objetivos del enfoque en microcuencas:
- Proporcionar la utilización racional de recursos hídricos mediante técnicas que promuevan la infiltración del agua en el suelo, regularizando el caudal de los ríos y arroyos y mejorando la calidad del agua para sus diversos usos.
- Recuperar y mantener la cobertura vegetal del suelo, interrumpiendo el proceso erosivo en su inicio.
- Restaurar la cobertura forestal en las partes altas, para fortalecer la recarga a los acuíferos.
- Estabilizar y equilibrar las relaciones con el ambiente para reducir riesgos (FAO, 2007, p.54).

#### 4.10 Características morfológicas de la cuenca

Los parámetros morfométricos de una cuenca integran un conjunto de estimaciones realizadas, en la mayoría de los casos, al iniciar un estudio hidrológico, con fines de aprovechamiento o control; sobre todo cuando la cuenca en análisis no cuenta con información hidrométrica y habrá que aplicar ciertos métodos y criterios, para efectuar las determinaciones hidrológicas básicas, como son: el régimen de escurrimientos líquidos y sólidos y sus avenidas normales y máximas (FAO, 2007, p.64).

**El análisis morfométrico** es el estudio de un conjunto de variables lineales, de superficie y de relieve; que permite conocer las características físicas de una cuenca, lo cual permite realizar comparaciones entre varias cuencas, así como ayuda a la interpretación de la funcionalidad hidrológica y en la definición de las estrategias para la formulación de su manejo. En general, todos los parámetros son fáciles de obtener y constituyen el punto de partida de las estimaciones hidrológicas en una cuenca (FAO, 2007, p.83).

**Las características morfométricas** corresponden a la aplicación de procedimientos que, a través del estudio de la morfología y geomorfología, caracterizan los rasgos propios de las cuencas hidrográficas en valores numéricos, los cuales permiten comparar en forma exacta

una parte de la superficie terrestre con otra. Estos parámetros están relacionados con el régimen hidrológico de una cuenca o microcuenca, ya que es una función compleja de numerosos factores, entre los que predomina el clima y la forma del terreno en el cual se desarrolla el fenómeno. Las formas de la superficie terrestre, y en particular su situación en altitud, tienen influencia decisiva sobre los más importantes factores condicionantes del régimen hidrológico, como precipitación, escorrentía, infiltración y formación de depósitos y sedimentos. Los valores morfométricos son fundamentales para documentar la analogía territorial y establecer relaciones hidrológicas de generalización y expresan en valores simples las características de paisajes complejos (CVC y Consorcio POMCA Quindío, 2017, p.135).

#### 4.11 Parámetros morfométricos

Las propiedades morfométricas de una cuenca hidrográfica proporcionan una descripción física espacial que permite realizar comparaciones entre distintas cuencas hidrográficas. Al mismo tiempo, pueden proporcionar conclusiones preliminares sobre las características ambientales del territorio a partir de la descripción precisa de la geometría de las formas superficiales (Gaspari et al., 2012).

Según Gaspari et al. (2009) el análisis de las características morfométricas y funcionales de una cuenca hidrográfica a través de parámetros de forma, relieve y red de drenaje, es básico en la modelación hidrológica para determinar el movimiento y captación del agua de lluvia.

- **Área (A) (km<sup>2</sup>):** Es la superficie encerrada por la divisoria de aguas.
- **Perímetro (P) (km):** Es la medición de la línea envolvente de la cuenca hidrográfica, a lo largo de la divisoria de aguas topográficas.
- **Longitud Axial (La) (km):** Es la distancia existente entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca. Es el mismo eje de la cuenca (Henaos, 1988). Es la longitud de la línea recta que conecta los puntos extremos de la cuenca en forma aproximadamente paralela al curso principal (Morisawa, 1985).
- **Longitud del curso principal (L) (m):** Es la longitud del río desde el punto más distante de la cuenca hasta la desembocadura.
- **Longitud total del drenaje (Ln) (km):** Es la longitud definida con la sumatoria de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca.

- **Coefficiente de sinuosidad total (S):** Es la relación entre la longitud del río principal a lo largo de su cauce (L) y la longitud en línea curva o recta entre el inicio y final del cauce (Ld). Es un coeficiente adimensional (Llamas, 1993).
- **Ancho promedio (Ap) (km):** Es la relación entre la superficie de la cuenca por su longitud axial (La).
- **Factor de forma (IF):** Es un factor adimensional que indica cómo se regula la concentración del escurrimiento superficial en la cuenca hidrográfica. Se expresa como la relación entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud axial (Jardí, 1985; Henaos, 1988). Manifiesta la tendencia de la cuenca hacia las crecidas.
- **Coefficiente de compacidad de Gravelius (Kc):** Este parámetro es adimensional y relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo teórico de área equivalente al de la cuenca (Gaspari, 2002).
- **Pendiente media (%):** La pendiente media del cauce se obtiene a partir del desnivel topográfico que se presenta sobre el cauce principal y la longitud del mismo. Se expresa en porcentaje. Al aumentar la pendiente aumenta la velocidad del agua por la red hidrográfica, lo que hace que la cuenca sea más susceptible a procesos erosivos y al arrastre de materiales (Zhicay Lombaida, 2020).
- **Coefficiente de rugosidad (Ra):** Es la relación existente entre el desnivel de la cuenca (H) y su densidad de drenaje (Dd). Es adimensional (Gasparini et al., 2009). Mientras que Patton (1988) menciona que cuencas muy disectadas con bajo relieve presentan un Ra similar a cuencas moderadamente disectadas y con un alto relieve.
- **Densidad de drenaje (Dd):** Está definida para cada cuenca como la relación entre la suma de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca con respecto al área de la misma (López y Mintegui, 1987; López, 1998).
- **Pendiente media del cauce (J):** Se deduce a partir del desnivel topográfico sobre el cauce principal y la longitud del mismo (L) (López y Mintegui, 1987; López, 1998; Gasparini, 2002). Se expresa en porcentaje.
- **Tiempo de concentración (Tc):** El tiempo que tarda el flujo superficial en contribuir al caudal de salida, desde el punto más alejado hasta la desembocadura de la cuenca (Gaspari et al., 2009). El tiempo de concentración también depende de la forma de la cuenca (López y Mintegui, 1987).

#### 4.12 Clasificación somera de los principales métodos de riego

Según Robert y Brown (2004) la energía requerida para la captación y distribución del agua, los sistemas de riego pueden ser clasificados en:

- **Gravedad:** El agua es captada y distribuida contando con la energía generada por el diferencial de altura entre el punto de captación y el área de regadío.
- **Energía motriz:** El nivel del agua está por debajo del nivel del área de regadío o a una altura insuficiente para distribuirse con la presión deseable. En estos casos el agua es captada y distribuida utilizando energía producida por un sistema de bombeo, impulsado por un motor a combustible o eléctrico, ariete, bomba eólica o manual.
- **Sistema mixto:** Dependiendo de la ubicación de la fuente de agua y del área de regadío, es posible combinar los dos sistemas anteriores, de tal manera de captar y elevar el agua mediante energía motriz y distribuirla por gravedad o viceversa.

**Según la forma de distribución del agua, los principales sistemas de riego pueden ser clasificados en:**

De acuerdo a Robert y Brown (2004) la forma de distribución del agua, los principales sistemas de riego pueden ser clasificados en:

- **Inundación:** El agua es distribuida superficialmente sobre el terreno de regadío, inundándolo totalmente o en partes. Este sistema puede subdividirse en: a) Inundación en superficie total, cuando toda la superficie de regadío es inundada por el agua; y b) Inundación parcial o por surcos, cuando la superficie de regadío está conformada por surcos y camellones y el agua es distribuida a través de dichos surcos.
- **Aspersión:** El agua es distribuida a través de aspersores, los cuales producen gotas de agua de diferentes tamaños, imitando una precipitación natural.
- **Micro aspersión:** Es una modificación del sistema de aspersión tradicional que permite asperjar el agua a poca distancia de la planta y de manera localizada.
- **Goteo:** El agua es distribuida de manera localizada, por gotas, a través de goteros instalados en mangueras de goteo, pequeños reservorios (galones, bambú, etc.) o tuberías de distribución.

#### 4.13 Comparación entre los sistemas de riego más comunes

Una comparación entre los diferentes sistemas de riego, como se puede observar a continuación en la Tabla1, en relación a variables de carácter técnico-agronómico, social y

económico, puede ayudar a la toma de decisión acerca de qué tipo de sistema implementar en un determinado proyecto (Robert y Brown, 2004). Para el presente estudio se optó por el sistema de riego por aspersión el cual mejor se adapta a las condiciones del terreno ya que tiene una mejor versatilidad en el riego.

**Tabla 1.** Comparación entre los sistemas de riego más comunes

<i>COMPARACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS DE RIEGO MAS COMUNES</i>			
<i>SISTEMAS DE RIEGO</i>	<i>ADAPTACIÓN A LOS CULTIVOS</i>	<i>ADAPATACIÓN A LAS CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO</i>	<i>CONSUMO DE AGUA</i>
<i>INUNDACIÓN</i>	Se adapta mejor a los cultivos que permiten la inundación total (por ejemplo: arroz) y a aquellos cuyo espaciamiento entre hileras posibilita la construcción del camellón y el surco.	Se adapta mejor en caso de terrenos planos o semi planos, normalmente aluviones a las orillas de ríos y quebradas (vegas). En áreas altas y con más pendiente.	Es el que más consume agua, por lo tanto, con excepción de las vegas de los ríos, donde no hay altura para instalar otros sistemas por gravedad, los sistemas por inundación deberían ser evitados, principalmente donde el agua es escasa.
<i>ASPERSIÓN</i>	Se adapta mejor a aquellos cultivos que ocupan toda el área del terreno o que poseen espaciamiento pequeño, cuyos sistemas radicales	Se adapta mejor a terrenos planos o semi planos. A medida que aumenta la pendiente, se incrementa el riesgo de erosión debido al desprendimiento de partículas de suelo que	Utiliza menos agua que el anterior, pero por lo menos el doble que el sistema de goteo.

	ocupan todo el volumen de suelo sembrado, Ejemplo: pastos etc.	causa el impacto de las gotas.
<i>MICROASPERSIÓN</i>	Se adapta mejor a aquellos cultivos de espaciamiento amplio, cuyos sistemas radicales no ocupan todo el volumen de suelo y, por lo tanto, el riego localizado es más eficiente, Ejemplo: frutales arbóreos etc.	Por igual, ambos sistemas se adaptan bien a terrenos de cualquier pendiente
		Consume menos agua que el sistema por aspersión tradicional, principalmente si se trata de cultivos de espaciamiento amplio, en los cuales el riego localizado es mucho más eficiente.
<i>GOTEO</i>	Se adapta mejor a aquellos cultivos de espaciamiento amplio, cuyos sistemas radicales no ocupan todo el volumen de suelo y, por lo tanto, el riego localizado es más eficiente.	Por igual, ambos sistemas se adaptan bien a terrenos de cualquier pendiente
		Es el más eficiente en el uso del agua, principalmente si se trata de cultivos de espaciamiento amplio; consume poco y por ofrecer una distribución lenta los cultivos suelen aprovecharla mejor.

**Fuente:** (Robert y Brown, 2004).

#### **4.14 Riego aspersión**

Es un sistema de riego mediante el cual se aplica agua sobre toda la superficie del suelo en forma de lluvia, por una red de distribución de agua formada por conducciones cerradas que llevan el agua a presión hasta los aspersores; el agua sale de ellos a gran velocidad y cae en forma de lluvia sobre el terreno, donde se infiltrará pasando desde la superficie del suelo hasta capas más profundas, quedando así a disposición del cultivo. Si existe un buen funcionamiento

del sistema no debe producirse escorrentía, es decir, cada gota de agua debe infiltrarse en el mismo punto donde cae. Además, el tamaño de las gotas producidas por los aspersores debe ser tal que no provoque erosión al caer al suelo, cuanto mayor sea el tamaño de la gota, con mayor energía llegará al suelo y en consecuencia la erosión podrá ser mayor (Fernández, Oyonarte, et al., 2010).

Los sistemas de riego por aspersión más antiguos datan del siglo XX, donde se utilizaron para el riego de céspedes ornamentales; sin embargo, se ha desarrollado lentamente para riego de frutales, viveros y hortícolas en cultivo intensivo; en 1930, con el desarrollo de aspersores de impacto y de tuberías en acero ligero con uniones rápidas, el riego por aspersión comenzó a extenderse y ser utilizado en una gama amplia de cultivos por todo el mundo; en 1950, surgieron nuevos aspersores, tuberías de aluminio y sistemas de bombeo más eficientes, lo que favoreció la reducción de costes y aceleró la extensión de este método; y en 1960, surgen los equipos pivote, con costos relativamente bajos, riegos de alta frecuencia, automatización del riego y grandes reducciones de mano de obra (Pereira et al., 2010).

La superficie de riego por aspersión en todo el mundo está cerca del 10 %, siendo más elevado en países desarrollados, con altos costes de mano de obra y bajos costos de energía. Las innovaciones mejoran el funcionamiento del riego y favorecen la adaptación de la aspersión a todos los tipos de suelo, topografía, cultivos y climas. Actualmente, para este sistema de riego se usan tuberías que se mueven manualmente; no obstante, la carencia de la mano de obra ha aumentado cada vez más la automatización del mismo, consiste en el uso de válvulas volumétricas que controlan el volumen de agua deseado y cierran instintivamente después de su suministro. En un nivel más avanzado, estas válvulas se pueden programar mediante el uso de unidades de control, que ordenan automáticamente la apertura y el cierre de las válvulas de acuerdo con el manejo del riego deseado, lo que permite que varias parcelas puedan regarse sin la intervención de la mano de obra uniendo las unidades de control de campo a una unidad principal comandada y ordenada por una computadora o por un teléfono móvil (Pereira et al., 2010).

#### **4.15 Componentes para instalación de un sistema de riego por aspersión**

Según Oriente (2019) el riego por aspersión requiere componentes similares al sistema de riego por goteo como se detallan en el apartado siguiente:

- **Fuente de Presión:** Es generada por una Motobomba o por diferencia de altura del estanque de almacenamiento, río, captación, que por efecto de gravedad genera presión natural. Se debe tener en cuenta el caudal y la presión requerida.
- **Red de conducción:** Conformada de una red de tuberías que lleva el agua desde la fuente de presión o captación hacia los cabezales. Esto se puede realizar a través de tubería de PVC o polipropileno.
- **Cabezal de riego:** Conocido también como cabezal de control, es el lugar donde se puede retener el agua para ser filtrada antes de distribuirla. Generalmente es utilizado en sistemas de riego por goteo y micro aspersión.
- **Línea de distribución:** Está conformado por tuberías o re de ramales que conducen el agua hasta los hidrantes, los cuales se encuentran en las cabeceras de las parcelas de riego. En la red de distribución el agua debe llegar al mismo tiempo y con la misma presión donde se encuentra instalado los aspersores con la finalidad de conseguir un riego uniforme.
- **Dispositivos de aspersión o emisores:** Son los elementos encargados de aplicar el agua en forma de lluvia. Estos dispositivos pueden ser tuberías perforadas, difusores fijos, boquillas o aspersores, entre otros. Los más utilizados en la agricultura son los giratorios, giran alrededor de su eje y permiten regar una superficie circular impulsados por la presión del agua.
- **Distancia entre aspersores laterales:** La distancia entre aspersores depende de las distancia y disposición de los cultivos, tamaño de las parcelas, para la selección del diámetro de riego del aspersor. Para obtener un riego de forma homogénea y desarrollo uniforme de las plantas tiene que haber necesariamente un traslape o sobreposición entre aspersores. Distancias comunes o generales que se pueden aplicar con aspersores de mediana presión están en el orden de 10 metros por 10 metros, hasta 15 metros por 15 metros.

## 4.16 Diseño Agronómico

### 4.16.1. Necesidades de agua de los cultivos

Es la cantidad de agua requerida por las plantas para reponer el consumo producido por la evapotranspiración y el agua retenida en las plantas. Es importante conocer estas necesidades para diseñar los sistemas de captación, distribución, aplicación de agua y poder así planificar ¿cuánto podemos regar y en qué tiempo lo podemos hacer? (Villafáfila & Wyss, 2009)

#### **4.16.2 Evapotranspiración (ET).**

Es la combinación de dos procesos separados por los que se pierde agua, a través de la superficie del suelo por evaporación y por la transpiración del cultivo, los cuales ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguirlos; es decir, es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua y se retira de la superficie evaporante, la cual puede ser un lago, río, camino, suelo o vegetación mojada. Al evaluar la evaporación es importante tener en cuenta algunos parámetros climatológicos como son: la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento (FAO, 2006; citado en Delgado, 2012).

#### **4.16.3 Evapotranspiración de referencia (Eto).**

La evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas y se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, denominada Eto. El concepto de evapotranspiración de referencia se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo, esta se expresa en mm/día. Los únicos factores que afectan a la Eto son los parámetros climáticos y, por ende, puede ser calculada a partir de datos meteorológicos (FAO, 2006).

#### **4.16.4 Coeficiente de cultivo (Kc).**

Integra las diferencias de evaporación en el suelo y tasa de transpiración del cultivo, el coeficiente único del cultivo es una expresión de los efectos promedios en el tiempo (múltiples días) de la evapotranspiración del cultivo (FAO, 2006; citado por Delgado, 2012).

Se utiliza para una adecuada planificación normal de riego y propósitos de manejo, para definir calendarios básicos de riego y para estudios de balance hídrico; los valores de Kc son diferentes de acuerdo a los ciclos fenológicos de cada cultivo (Delgado, 2012).

#### **4.16.5 Evapotranspiración del cultivo (Etc).**

La evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando la evapotranspiración de referencia (Eto) por Kc, el cual es un coeficiente que expresa la diferencia entre la evapotranspiración de la superficie cultivada y la superficie del pasto de referencia. Se determina a partir de la siguiente ecuación (FAO, 2006):

$$ETc = ETo * Kc$$

Donde:

$ET_c$  = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

$ET_o$  = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

$K_c$  = Coeficiente del cultivo (adimensional)

#### **4.17 Obras hidráulicas en una cuenca hidrográfica**

Las obras hidráulicas son estructuras construidas con el fin de captar, extraer, desalar, almacenar, regular, conducir, controlar y aprovechar el recurso hídrico. Para su construcción se deben considerar parámetros y criterios de orden hidrológico e hidráulico (Cajamarca et al., 2014).

En la actualidad, los efectos del cambio climático afectan de manera directa e indirecta los componentes del ciclo hidrológico, utilizados para estimar los parámetros de diseño de obras hidráulicas y realizar una adecuada planificación de los recursos hídricos. Pequeños cambios climáticos pueden producir problemas significativos en los recursos hídricos de distintas regiones (Cajamarca et al., 2014).

#### **4.18 Obras de captación de aguas superficiales**

Los flujos que se encuentran libres y sujetos a la presión atmosférica se denominan aguas superficiales. Dichos flujos pueden ser permanentes o intermitentes. Los llamados permanentes son aquellos que circulan a través de un cauce durante todo el año, estos son alimentados por acuíferos en temporada de lluvias y sequías. Por el contrario de los flujos intermitentes que solo circula con la presencia de precipitaciones. Tomalá y Vera (2021) menciona que para escoger que obra de captación para la toma directa de aguas superficiales se debe considerar ciertos aspectos importantes a saber: seleccionar bien el punto de captación; decidir el diámetro, longitud y el tipo de tubería a utilizar; especificar cómo será la toma de agua; diseñar los flotadores y soportes de la tubería y toma de agua; y, escoger la instalación apropiada. Es importante que el sistema esté correctamente diseñado para que tenga una buena operación y rendimiento (p. 86).

Por captación se entiende a el punto o puntos de origen de las aguas para un abastecimiento, así como las obras de diferente naturaleza que deben realizarse para su recogida (Pérez, 2011, p.25).

Sí mismo, las obras de captación tienen como finalidad de solucionar ciertos problemas de abastecimiento de agua en una determinada población, éstas pueden variar

dependiendo de la naturaleza de la fuente de abastecimiento, topografía y localización del terreno (Gómez, 2017, p.46).

#### 4.19 Bocatoma caucasiana de fondo

Según López (1995) menciona que el agua es captada a través una rejilla colocada en la parte superior de una presa, que a su vez se dirige en sentido normal de la corriente. El ancho de esta presa puede ser igual o menor que el ancho del río. También da a conocer que la bocatoma de fondo consta de varias partes:

- **Presa:** Su cota superior está al mismo nivel de la cota de fondo del río. Construida generalmente en concreto ciclópeo, dentro de ella se encuentra el canal de aducción.
- **Solados o enrocado superior e inferior:** Ubicados aguas arriba y aguas debajo de la presa, tienen por objeto protegerla de la erosión. Pueden construirse en concreto o enrocado.
- **Muros laterales:** Encauzan el agua hacia la rejilla y protegen los taludes. El ancho de estos muros depende de la estabilidad estructural. Como son en concreto ciclópeo, los anchos de los muros pueden ser de 60 centímetros o menos; esto depende del estudio de la estabilidad de los mismos muros.
- **Rejilla:** Se coloca sobre el canal de aducción que se encuentra dentro de la presa. La longitud de la rejilla y, por tanto, la del canal de aducción, puede ser menor que la longitud de la presa o el ancho de la garganta, según las necesidades del caudal que se ha de captar. El ancho mínimo es de 40 centímetros y el largo mínimo de 70 centímetros, dados para facilitar la operación de limpieza y mantenimiento. Los barrotes y el marco pueden ser de hierro, el espaciamiento adecuado dependerá del área disponible en la toma y del diámetro de los sedimentos que pasen por ahí, un estimado de la separación entre barrotes puede ser de cinco a diez centímetros de los mismos de  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{4}$ " o 1".

Los barrotes van en dirección de la corriente del cauce, con una inclinación en dirección aguas abajo, para lograr que los sedimentos arrastrados se hagan en la misma dirección aguas abajo. Su forma tiene diferentes secciones como: circular, ojival, rectangular o trapecial; se puede elegir cualquiera de estas secciones según el tipo de proyecto o de las características que tengan los sedimentos arrastrados.

- **Canal de aducción:** Recibe el agua a través de la rejilla y entrega el agua captada a la

cámara de recolección. Tiene una pendiente entre 1% y 14%, con el fin de dar una velocidad mínima adecuada y segura para realizar las labores de mantenimiento.

- **Cámara de recolección:** Generalmente es cuadrada o rectangular, con muros en concreto reforzado cuyo espesor puede ser de 30 centímetros y su altura igual a la de los muros laterales. En su interior se encuentra un vertedero de excesos lateral, que entrega el agua a una tubería de excesos que se regresa el agua al cauce.

## 5. Metodología

### 5.1 Ubicación del área de estudio

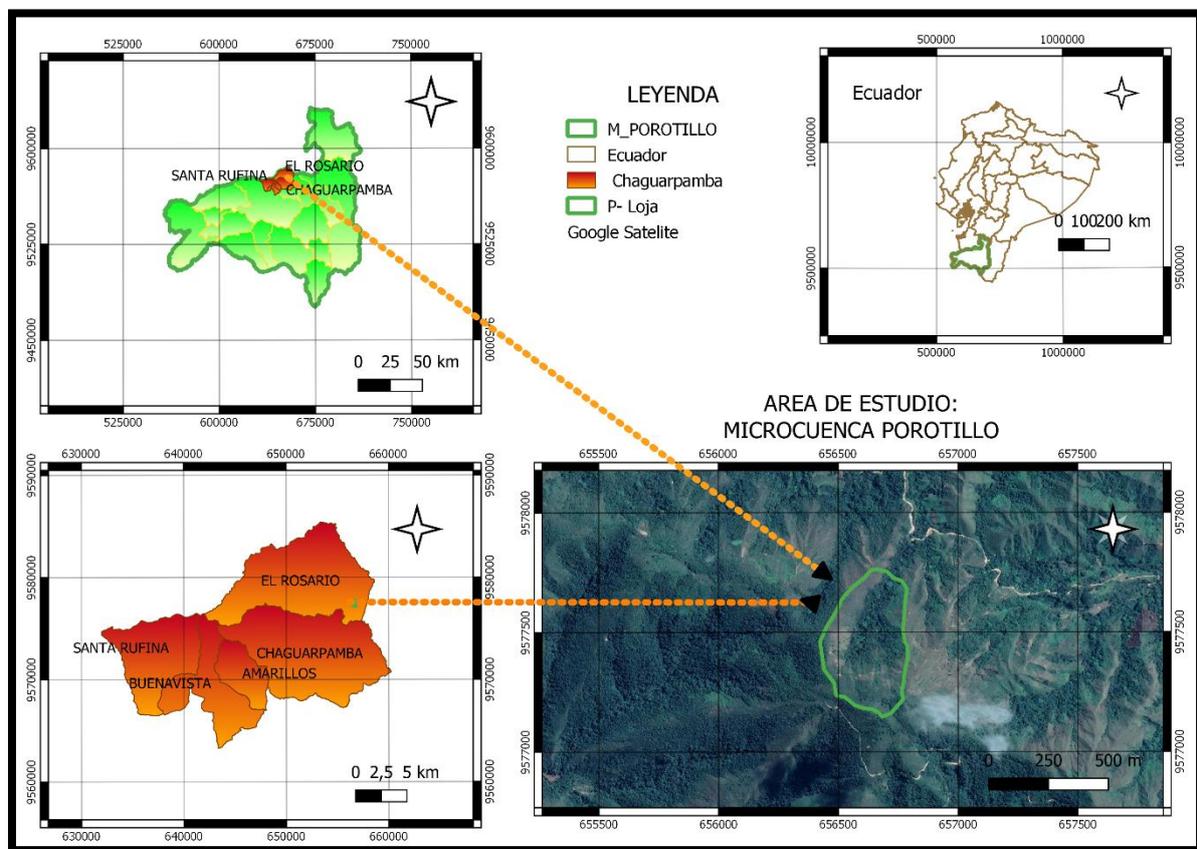
La presente investigación se la realizó en la quebrada Porotillo, perteneciente a la demarcación hidrográfica Puyango-Catamayo. Dicho sitio se encuentra ubicado en el sector las (Huacas) de la Parroquia el Rosario, cantón Chaguarpamba Provincia de Loja, El cantón Chaguarpamba está ubicado al norte de la provincia de Loja, limita al norte: con el Oro; al Sur: con Olmedo y Paltas; al Este: con Catamayo; al Oeste con Paltas; distancia desde Loja 108 Km, como se observa en la Figura 2.

### Ubicación geográfica del área de estudio

Coordenadas UTMWGS84, Zona17S

Coordenadas norte: 9°57'8270 m

Coordenadas este: 657100 m



**Figura 2.** Mapa de ubicación de la zona de estudio, parroquia el Rosario, cantón Chaguarpamba  
**Fuente:** Elaboración Autor

## **5.2 Características edafoclimáticas de la Zona de estudio**

La quebrada Porotillo que pertenece al sector las Huacas se ubica en la cota de captación 900 msnm; **Este** 656721 m y **Norte** 9577734 m, presenta una vegetación arbustiva en la zona de recarga del recurso hídrico; al ser un bosque nativo presenta un ecosistema arbóreo, caracterizado por la presencia de árboles y arbustos de múltiples especies nativas, edades y alturas variadas, regenerado por sucesión natural, con una asombrosa biodiversidad de vegetales, animales y microorganismos, que viven en armonía. Los suelos son arcillosos, de color negro y amarillento, presentan una buena capa de humus, aptos para la agricultura y ganadería, en esta zona se aprecia las características del inceptisol y alfisol (GAD El Rosario, 2015).

El tipo de relieve es montañoso, existiendo pendientes fuertes; evidenciando el uso inadecuado en las actividades agro-productivas, la erosión es de tipo eólico e hídrico con pérdida de nutrientes. La cobertura vegetal está conformada por pastizales, bosques secundarios alrededor de las vertientes; siendo uno de los problemas la pérdida de bosques nativos y de especies nativas por acciones antrópicas y cambio climático. El clima es Semi-Húmedo y Seco Anual (GAD El Rosario, 2015).

La mayoría de los agricultores de la zona dedican a la producción básicamente enfocada en cultivos anuales y vegetación herbácea como maíz, maní, fréjol, tomate, piña, etc. También existe en menor cantidad otros cultivos con cobertura de vegetación arbórea como: café, cacao, caña de azúcar, cítricos, mango, plátano, guineo, mandarina, guanábana, membrillo (GAD El Rosario, 2015). La mayor parte de la producción es para autoconsumo, solo una mínima parte o excedentes se comercializan.

## **5.3 Metodología para el Objetivo 1**

Caracterizar la microcuenca Porotillo en sus aspectos morfológicos e hidráulicos con fin de aprovechamiento del recurso hídrico.

### ***5.3.1 Caracterización de la microcuenca Porotillo***

La determinación de la información primaria se basó principalmente en la realización de un levantamiento topográfico desde el punto de interés (vertiente Porotillo) donde se captó el recurso hídrico hasta la zona de almacenamiento, esto se lo realizó con la ayuda de la estación total y el GPS diferencial. Posteriormente en los programas de sistemas de información geográfica (SIG), con la topografía del sector se realizó la delimitación de la microcuenca de estudio y el cálculo de los parámetros morfométricos con la ayuda de SIG.

### ***5.3.2 Delimitación de la microcuenca y elaboración del mapa base y red hídrica***

A través de la cartografía digital de la zona de estudio, y tomando como punto de interés la obra de captación de agua para el sistema de riego, se realizó el trazado del divisorio Aquarium que pasa por los puntos de mayor nivel topográfico y que rodea la red de drenaje, en este caso de la quebrada Porotillo. Para realizar la delimitación de la microcuenca, se lo hizo con base al mapa base y red hídrica de la microcuenca Porotillo (Anexos 5 y 6), se estableció el punto de interés el cual se encuentra en las siguientes coordenadas planas: **Este** 656721 y **Norte** 9577734, luego a partir de las curvas de nivel se delimitó el área de la microcuenca siguiendo el parte agua. Este procedimiento se lo realizó a través del SIG, la cartografía y el levantamiento topográfico realizado en la zona de estudio; cómo se puede observar en el (Anexo 4), el registro fotográfico de las actividades realizadas en campo con la estación total y el GPS diferencial. Los límites de la microcuenca Porotillo se realizaron con la ayuda de los SIG utilizando información topográfica digital del Instituto Geográfico Militar a escala 1:50000 como mapa base y el datum es WGS 1984 UTM, Zona 17S, luego se generó un Modelo de Elevación Digital (DEM) utilizando el procesamiento de altimetría para la delimitación de la misma.

### ***5.3.3 Parámetros morfométricos de la microcuenca***

#### **Área y perímetro de la cuenca**

Para conocer el área y perímetro de la cuenca primeramente en la carta topográfica se delimito el área de estudio tomando en cuenta la topografía del terreno, esta se la obtuvo al trazar por el divisorio de aguas hasta el punto de interés. Para la determinación del área de la cuenca fue necesario previamente delimitar la cuenca, considerando las siguientes particularidades (Cuenca, 2015).

- Se debe seguir las altas cumbres;
- Se debe cortar ortogonalmente a las curvas de nivel
- No se debe cortar ninguno de los cauces de la red de drenaje.

El perímetro (P) es la longitud del límite exterior de la cuenca y depende de la superficie y la forma de la cuenca.

#### **Forma de la cuenca**

El parámetro que nos da una idea de la tendencia de la forma de la cuenca es el factor (K) denominado coeficiente de compacidad de Gravelius, el cual se lo puede calcular con la siguiente expresión (Cuenca, 2015).

$$K = \frac{P}{2\sqrt{\pi * A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Dónde:

K = coeficiente de compacidad de Gravelius

$\pi$  = signo “Pi” que es igual a 3,1416

P = Perímetro de la cuenca en Km.

A = Área de la cuenca en km<sup>2</sup>.

<b>Interpretación del factor K</b>	
<b>1.00 – 1.25</b>	Redonda
<b>1.25 – 1.50</b>	Ovalada
<b>1.50 – 1.75</b>	Oblonga (alargada)

### **Longitud de la Red Hídrica:**

La longitud de la red hídrica se calculó como la sumatoria de la longitud de cada orden de la red hídrica, mediante consultas dentro del software. Mediante la utilización de medición directa con la ayuda de la topografía de la zona, se midió la distancia a lo largo del curso principal del agua que va desde la zona de captación en la cota 945 msnm a la zona de almacenamiento en la cota 865 msnm.

### **Longitud Axial (LA) km:**

La longitud axial es la distancia medida entre el punto más alejado de la cuenca y el punto de entrega o captación. En este caso se utilizó la topografía de la zona, y con la ayuda de los SIG se procedió a medir la distancia entre estos dos puntos que van de la cota 945 msnm a 865 msnm, utilizando el método de medición directa.

### **Ancho Promedio (AM) Km:**

El ancho promedio se define como la longitud plana de la línea promedia que se extiende entre lado y lado del territorio de la microcuenca, perpendicular a la Longitud Axial. Para ello se utilizó la topografía de la zona y con la ayuda de los SIG, se procedió a realizar la medición en varios puntos y poder calcular el promedio. La fórmula aplicada es:

$$AM = A/LA$$

Dónde:

A: Área de Captación.

LA: Longitud Axial

### **Longitud del Rio Principal (LR) Km:**

La longitud del río principal es la longitud del cauce principal (vertiente Porotillo) medida en el software, por medio de la herramienta Hydrology a partir del modelo de dirección de flujo de la cuenca. Para ello se utilizó la topografía de la zona y se estableció la longitud desde la zona de captación o punto de interés en la cota 945 msnm; hasta la zona de almacenamiento que se encuentra en la cota 865 msnm, utilizando el método de medición directa.

### **Coefficiente de Sinuosidad Hidráulico:**

El coeficiente de sinuosidad hidráulico se obtiene al calcular la relación entre la longitud del cauce principal (vertiente porotillo), con la longitud máxima del valle que forma. Este parámetro se calculó automáticamente en el software.

### **Pendiente Promedio del Rio Principal (SC\_P) grados:**

La pendiente promedio del río principal medida en grados, se calculó automáticamente en el Software.

### **Factor de Forma (F)**

Este factor fue propuesto por Horton (1945) donde relaciona el área de la cuenca y la longitud de la misma. En este sentido, valores inferiores a la unidad indican cuencas alargadas y aquellos cercanos a uno, son redondeadas. Este factor relaciona el área de la microcuenca con la longitud de la misma. Mediante la aplicación de la fórmula:

$$F = A/L^2$$

Donde:

A= Área de la cuenca.

$L^2$  = Longitud de la cuenca

### **Parámetros de relieve**

A mayor pendiente, corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes del cauce principal, (Navarrete, 2004). Algunos parámetros destacan:

### **Pendiente promedio de la microcuenca**

La pendiente promedio se obtuvo utilizando el modelo digital de elevación, aplicando en el módulo de análisis espacial del software; la herramienta slope que determina la pendiente, interpolándolo con el archivo vectorial de cuenca, posterior utilizando el módulo de estadísticas zonales en el software, se obtuvieron los datos del promedio de la pendiente.

### **Pendiente media del cauce principal.**

Con este parámetro, se obtuvo la pendiente media del cauce y su potencial para erosionar. Se expresa con “i” y se calculó con la fórmula: La pendiente media se calcula a partir del mapa de pendientes realizado en el software.

$$i = \frac{H_{max} - H_{min}}{L_c} * 100$$

Donde:

i = Pendiente media del cauce principal (%).

Hmax = Altura máxima del afluente principal.

Hmin = Altura mínima del afluente principal.

Lc = Longitud del cauce.

### **Tiempo de concentración.**

Los valores del tiempo de concentración se calcularon a partir de fórmulas empíricas (Maidment, 1993). El tiempo de concentración que tarda en llegar una gota desde el extremo más alejado a la sección de salida se calculó mediante la fórmula californiana (Kirpich), basada en los datos de siete pequeñas cuencas agrícolas, con canales definidos y pendientes empinadas. La cual se basa en la longitud del río principal y la diferencia altitudinal de la microcuenca:

$$t_c = \frac{(4\sqrt{S} + 1.5 L)}{(0.8 \sqrt{H})}$$

Donde:

tc = Tiempo de concentración (h).

S = Área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

L = Longitud del cauce principal (km).

H = Elevación media de la cuenca (km).

Este coeficiente define la forma de la microcuenca, respecto a la similitud con formas

redondas, dentro de rangos que se muestran a continuación:

**Tabla 2.** Clasificación del coeficiente de Compacidad o Gravelius

<b>Kc</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Interpretación Ambiental</b>
<b>1 a 1,25</b>	Casi redonda a oval-redonda	<b>Alta tendencia a inundaciones</b>
<b>1,25 a 1,5</b>	Oval redonda a oval-alargada	<b>Mediana tendencia a inundaciones</b>
<b>1,5 a 1,75</b>	Oval alargada a alargada	<b>Baja tendencia a la inundación</b>
<b>&gt; 1,75</b>	<b>Alargada</b>	<b>Cuencas propensas a la conservación</b>

**Fuente:** Strahler (1957), citado de (Zhicay Lombaida, 2020)

#### **5.3.4 Parámetros de Clasificación**

También se la puede clasificar de acuerdo al relieve en relación a su pendiente media de la cuenca, la cual es uno de los principales parámetros que caracteriza el relieve de una cuenca hidrográfica, tiene relación con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al flujo en los cauces (Guerra y Gonzáles, 2002; Tipán, 2018), como podemos observar en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Clasificación del relieve de una cuenca de acuerdo a su pendiente

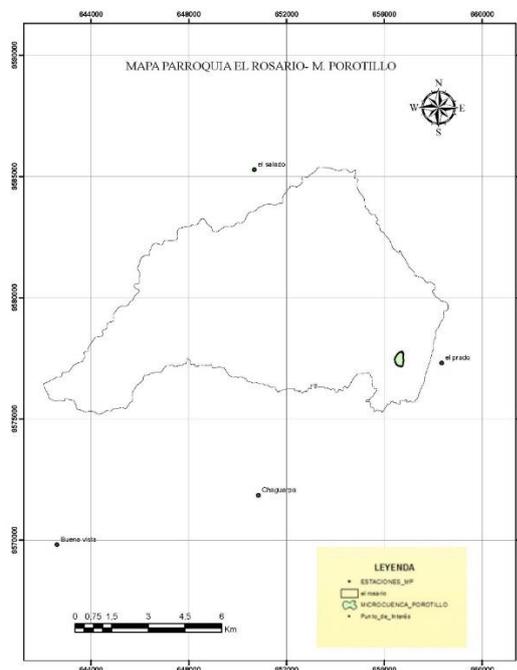
<b>Rangos de Pendiente (%)</b>	<b>Descripción</b>
<b>0 – 4</b>	<b>Nula o casi Nivel</b>
<b>4 – 8</b>	<b>Ligeramente inclinada</b>
<b>8 – 15</b>	<b>Ligeramente inclinada a moderadamente empinada</b>
<b>15 – 25</b>	<b>Moderadamente empinada</b>
<b>25 – 50</b>	<b>Empinada</b>
<b>50 – 75</b>	<b>Muy empinada</b>
<b>&gt; 75</b>	<b>Extremadamente empinada</b>

**Fuente:** Alcántara (2008) citado de (Zhicay Lombaida, 2020)

### 5.3.5 Estimación de la precipitación media mensual de la microcuenca Porotillo

#### Estaciones consideradas

Considerando los datos de precipitación homogeneizados y validados con base a cuatro estaciones meteorológicas convencionales (El Prado, El Salado, Chaguarpamba y Buena Vista) Figura 3, cercanas a la microcuenca de estudio, serie de datos de 1990 a 2005, que fueron extraídos de los anuarios meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), cabe mencionar que este promedio de datos de 15 años fueron tomados de las diferentes estaciones en relación a los diferentes análisis comparativos debido a la falta de información existente de datos actualizados en la generación de información hidrometeorológica. Como se puede observar en la figura 3 a continuación, se muestra las estaciones meteorológicas seleccionadas de acuerdo al radio de influencia.



**Figura 3.** Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas alrededor de la microcuenca  
**Fuente:** Elaborado Autor

Una vez completado los datos de precipitación media mensual, validado y homogeneizado, se empleó la metodología descrita anteriormente para la determinación de la precipitación media, con el fin de obtener la cantidad de agua que ingresa a los sistemas hidrográficos de la microcuenca Porotillo.

#### Precipitación media en la microcuenca Porotillo

Para obtener los valores mensuales de precipitación media de la microcuenca, se

utilizó el método de las Isoyetas. Con los valores promedio medios mensuales de precipitación obtenidos en las 4 estaciones (Anexo 2). El proceso constructivo utilizado para el método de las isoyetas, mediante los SIG es el siguiente; se generó una base de datos en Excel, la cual se exportó y procesó en los GIS, utilizando el método de interpolación Spline, métodos más utilizados para este meteoro. Así, se obtuvo las capas ráster de precipitación para cada uno de los meses del año y aplicando una extracción por máscara con el perímetro de la cuenca, se obtuvo el ráster de precipitación para la microcuenca. Además una vez generado los ráster, fue posible generar las líneas de igual precipitación mediante la extensión contour, cada cierto intervalo de precipitación (Luna, 2017).

Sobre la base de los valores puntuales de precipitación en cada estación se construyen, por interpolación, líneas de igual precipitación: Las líneas así construidas son conocidas como **isoyetas**. Para ello, se siguieron los siguientes pasos (Guayanay, 2013).

1. Sobre el plano base de la zona de estudio, se replantearon las estaciones y se ubicaron las cantidades de lluvia correspondientes a cada estación.

2. Con los datos de precipitación correspondiente a cada estación se interpoló linealmente con las estaciones enlazadas, con la finalidad de encontrar los puntos de igual precipitación.

3. Empleando líneas curvas suaves y continuas se unieron los puntos anteriormente interpolados, estas líneas curvas vienen a ser las Isoyetas.

4. Guiándose por la topografía de la zona de estudio y las direcciones de los vientos, se corrigieron las curvas isoyetas dándoles la forma correcta de acuerdo al relieve y a la orientación de los frentes de lluvia. Por lo general las curvas se ven forzadas a moverse del punto interpolado.

### ***5.3.6 Estimación del caudal medio***

#### **Coefficiente de Escorrentía**

El coeficiente de escorrentía de la microcuenca Porotillo se lo obtuvo del análisis de la cobertura vegetal, tipo de suelo y las pendientes, mediante SIG. Para ello se aplicó la matriz de la Tabla 4 en base al método de Prevert (1986), este método se aplica cuando no se dispone de datos suficientes para determinar la lluvia neta. El coeficiente se determinó en función de las características de la cuenca. A continuación, se describen la tabla 4 que sirvió para el cálculo del coeficiente de escorrentía. Para ello Prevert clasifica el suelo según su textura en gruesa (arenoso-limoso y limoso-arenoso), mediana (limoso y limoso-arcilloso) y fina (arcillas). Por

lo que se refiere a la pendiente, este método distingue cuatro grupos, entre 0 y 5% de pendiente, entre 5 y 10%, entre 10 y 30% y mayores del 30% citado de (Moll Barber, 2013).

**Tabla 4.** Valores de C para estimar el coeficiente de escorrentía C de acuerdo a la textura, uso del uso y pendiente

<b>Textura del suelo</b>				
<b>Uso del suelo</b>	<b>Pendiente (%)</b>	<b>Arenoso-limoso</b>	<b>Limoso</b>	<b>Arcilloso</b>
		<b>Limoso-arenoso</b>	<b>Limoso-arenoso</b>	
<b>Bosque</b>	0 – 5	0.1	0.3	0.4
	5,1 – 10	0.25	0.35	0.5
	10,1-30	0.3	0.4	0.6
	> 30	0.32	0.42	0.63
<b>Pastizal</b>	0 – 5	0.15	0.35	0.45
	5,1 – 10	0.3	0.4	0.55
	10,1-30	0.35	0.45	0.65
	> 30	0.37	0.47	0.68
<b>Cultivo agrícola</b>	0 – 5	0.3	0.5	0.6
	5,1 – 10	0.4	0.66	0.7
	10,1-30	0.5	0.7	0.8
	> 30	0.53	0.74	0.84

**Fuente:** (Prevert (1986))

### **5.3.7 Estimación de caudales máximos por el método Racional**

El Método Racional fue escogido por ser uno de los más utilizados para la estimación del caudal máximo asociado a la lluvia, y es el que se ajusta más al estudio, haciendo relación al coeficiente de escorrentía medio ponderado de la microcuenca, la Intensidad de la Lluvia de Diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y con frecuencia igual al período de retorno seleccionado para el diseño (Curvas de I-D-F) [mm/h], y el área de la microcuenca de estudio ( Erazo y Ortiz, 2014).

Para ello se determinó la intensidad máxima de precipitación probable en 24 horas para diferentes periodos de retorno definidos en el presente trabajo. Para nuestra investigación se utilizó un periodo de retorno de 50 años. Los datos se los obtuvo de la estación meteorológica Zaruma para un periodo de 30 años (1982-2011); con precipitaciones máximas probables cada 24 horas como se puede observar en el (Anexo 9).

$$Q = \frac{CIA}{3.6}$$

Donde:

Q: Caudal máximo [m<sup>3</sup>/s]

C: Coeficiente de escorrentía medio ponderado de la cuenca, que depende de la cobertura vegetal, la pendiente y el tipo de suelos, sin dimensiones.

A: Área de la cuenca. [Km<sup>2</sup>]

I: Intensidad de la Lluvia de Diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y con frecuencia igual al período de retorno seleccionado para el diseño (Curvas de I-D-F) [mm/h]

### **Metodología de Gumbel para determinar precipitación máxima probable en 24 horas**

Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia

Para la realización del análisis de Intensidad-Duración-Frecuencia, se consideró datos con registros de precipitaciones máximas para un periodo de 30 años de la estación meteorológica (pluviométrica) Zaruma como podemos ver en el (Anexo 9); cercana al área de estudio (microcuenca porotillo), sitio en el que se realizó el diseño de la Obra Hidráulica (Erazo y Ortiz, 2014).

Para realizar el análisis de Intensidad-Duración-Frecuencia, se tabularon los registros obtenidos de las bandas pluviográficas de la estación de medición para diversas duraciones. Dependiendo del tipo de diseño, estas duraciones podrán ser de 5, 10, 15, 30, 45 minutos y 1, 2, 3, 6, 12, 24 horas etc.

Para cada año y para cada una de las duraciones seleccionadas, se obtuvo la precipitación máxima, y con ésta se calculó la intensidad de la lluvia en función de la duración.

La serie de Intensidades obtenidas se ajusta entonces a una ley de distribución de probabilidades para eventos extremos, tal como la de Gumbel, a fin de presentar, para períodos

de retorno prefijados (frecuencias), una o más curvas que relacionen la duración con la Intensidad.

### **Cálculo de Intensidades máximas**

Para la obtención de las Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia, se convirtió los registros de precipitaciones máximas en Intensidades Máximas. De esta forma, y considerando las duraciones seleccionadas, determinamos las Intensidades máximas (Erazo y Ortiz, 2014).

Cálculo de las Precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias

Función acumulada

La función de distribución acumulada de la distribución de Gumbel tiene la forma (Béjar, 2004).

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)}}$$

Para:  $-\infty < x < \infty$

Donde:

$0 < \alpha < \infty$  = es el parámetro de escala

$-\infty < \mu < \infty$  = es el parámetro de posición, llamado también valor central o moda

Para el cálculo de los parámetros de la serie de datos:

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$$

Se convierte a sus logaritmos, luego se calcula la media y desviación estándar; que es el cálculo de las variables probabilísticas basadas en el método de Gumbel (Béjar, 2004), como se muestran a continuación:

- Media

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

- Desviación estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

**Intensidades de lluvia a partir de precipitación máxima (Pd), según Duración de precipitación y Frecuencia de la misma.**

Para las Intensidades de lluvia a partir de precipitaciones máximas Pd, según Duración de precipitación y Frecuencia de la misma se obtuvo mediante la siguiente fórmula (Béjar, 2004).

$$I = \frac{P [mm]}{t \text{ duración [hr]}}$$

Representación matemática de las curvas Intensidad – Duración – Período de retorno:

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n}$$

En la cual:

I= Intensidad (mm/hr)

t= Duración de la lluvia (min)

T= Período de retorno (años)

K,m,n= Parámetros de ajuste

Realizando un cambio de variable:

$$d = K \cdot T^m$$

Con lo que de la anterior expresión se obtiene:

$$I = \frac{d}{t^n} \Rightarrow I = d \cdot t^{-n}$$

En función del cambio de variable realizado, se realiza otra regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno (T) y el término constante de regresión (d), para obtener valores de la ecuación (Béjar, 2004).

$$d = K \cdot T^m$$

**La ecuación de intensidad válida para la microcuenca resulta:**

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n}$$

Donde:

I= intensidad de precipitación (mm/hr)

T= Periodo de Retorno (años)

t= Tiempo de duración de precipitación (min)

K= constante de regresión de la cuenca

### **5.3.8 Aforo de caudales en la Microcuenca**

Para la ejecución del trabajo en campo se realizó una observación *in situ*, seleccionando el punto para la medición del caudal y nivel de agua, en los que se determinó la topografía del terreno y características del cauce. Para determinar la cantidad de agua de la microcuenca se realizaron mediciones utilizando el método volumétrico (Anexo 3) MINAGRI (2015), este método consistió en medir el tiempo que tarda en llenarse un recipiente de volumen conocido. Al dividir la capacidad del recipiente (litros) por el tiempo empleado (segundos), se obtiene el caudal en l/s (Hidalgo, 2017). Para el presente estudio se determinó el tiempo de llenado del recipiente con un cronómetro, considerando tres repeticiones a fin de determinar un tiempo promedio.

$$\text{Caudal} \left( \frac{l}{s} \right) = \frac{\text{volumen del balde (litros)}}{\text{tiempo que demora en llenarse (s)}}$$

### **5.3.9 Caudal Ecológico**

Para la determinación del caudal ecológico se lo calculó en base al método ecuatoriano o 5% del promedio anual. Este método permite calcular el caudal ecológico a partir del 5% del caudal medio anual.

$$QE = 5\% * Qm$$

Donde: Qm=Caudal medio anual.

### **5.3.10 Curva de duración general o permanencia de caudales**

Para construir la curva de duración general o permanencia de caudales de la quebrada Porotillo, durante los 12 meses del año, se empleó el siguiente procedimiento (Luna, 2017). Los datos se los obtuvo de los anuarios meteorológicos del INAMI para un periodo de 30 años (1982-2011); de la estación meteorológica Zaruma, y aplicando la fórmula correspondiente se obtuvo caudales medios mensuales como se puede observar en el Figura 10.

- Se ordenó los caudales de mayor a menor (Qmax...Qmin).
- Para expresar el % del tiempo se divide el número de meses de superávit para el total de frecuencias y como el caudal es expresado en % representará una probabilidad de ocurrencia del 100%.
- Se graficó la curva, mediante el software de Microsoft Excel, determinando el caudal disponible a una probabilidad del 75 %.

## **5.4 Metodología para el Objetivo 2:**

Diseñar la infraestructura hidráulica para la captación, conducción, almacenamiento y distribución del agua de la vertiente Porotillo de la Finca San Héctor.

El levantamiento topográfico tuvo como objeto obtener información detallada sobre las características del terreno donde se van a implantar la bocatoma, la conducción, la zona de almacenamiento y el área de riego.

### **Línea de conducción**

Para el levantamiento de la línea de conducción por donde va pasar la tubería de PVC, se utilizó la estación total y el GPS diferencial, con la estación total se realizó el levantamiento topográfico de las zonas de difícil acceso, en este caso se tomó puntos cada cierta distancia desde la zona donde se captó el recurso hídrico, así como los puntos de la conducción por donde va a ir la tubería de PVC hasta la zona de almacenamiento; mientras que, con el GPS diferencial se fue tomando los diferentes puntos de la conducción por donde no había la interferencia de árboles que dificulten realizar el levantamiento. Como se observa en el (Anexo 4), algunas imágenes del levantamiento topográfico que se realizó en campo: visualizándose la zona de captación del recurso hídrico donde se implantó el diseño de la bocatoma tipo rejilla de fondo, además de la zona de conducción por donde irá la tubería de PVC.

### **Área de riego**

Una vez realizado el levantamiento topográfico hasta la zona de almacenamiento, se optó por diseñar un reservorio de 102 m<sup>3</sup> modelo tronco de pirámide, desde esta zona al área de riego existe una diferencia de presión de 30 m para garantizar el buen funcionamiento del sistema por donde va ir la conducción de la tubería secundaria, de la tubería secundaria se trazó 6 laterales perpendiculares con 2 aspersores por lateral; de esta manera se obtuvo una distancia entre ramales de 30m y una distancia entre aspersores de 22m, con ello se garantizó el traslape entre aspersores con un marco de riego uniforme acorde al área a regar que es de 0.18 ha.

Una vez realizado el levantamiento topográfico de la información se importó a una hoja de cálculo para luego procesar los datos en el software de dibujo.

El diseño de la infraestructura hidráulica (bocatoma tipo rejilla de fondo) garantizará a la zona de estudio ciertos parámetros importantes: La dotación del agua a los usuarios se distribuya de forma permanente, la protección aguas arriba para que el ganado no contamine el recurso hídrico. Con la ayuda del programa de dibujo ingenieril categoría BIM o modelado

se cargó la topografía de la zona, así como el levantamiento topográfico, esto permitió realizar el modelamiento del terreno y poder implantar el diseño de la bocatoma tipo rejilla de fondo, la conducción de la tubería de PVC y el reservorio de almacenamiento.

#### ***5.4.1 Diseño de la bocatoma con rejilla de fondo***

##### **Diseño de la presa**

Par el diseño de la presa se tomó un ancho inicial de 1.6 m.

La altura de la lámina de agua bajo las condiciones de diseño predispuestas se obtuvo con la ecuación (Cabrera, 2018):

$$Q = 1.84LH^{1.5}$$

Donde:

Q= Caudal de diseño

L= Longitud del vertedero

H= Carga sobre la cresta del vertedero

Con el fin de determinar el valor de la lámina de agua se despeja H en la ecuación:

$$H = \left( \frac{Q}{1.84L} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Debido a la existencia de las contracciones laterales, se debe hacer la correspondiente corrección de la longitud de vertimiento, de acuerdo con la siguiente ecuación:

Se realizó la corrección por las dos contracciones laterales, se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$L' = L - 0.1nH$$

Donde:

L'= Longitud del vertimiento corregida (m)

L= Longitud del vertimiento

n= Número de contracciones laterales

H= Carga sobre la cresta del vertedero

Para determinar la velocidad del agua al pasar sobre la rejilla que sea mayor a 0.3 m/s y menor a 3 m/s, se calculó con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{Q}{L' H}$$

Donde:

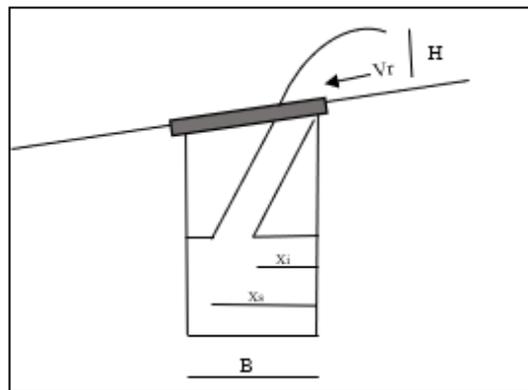
V= Velocidad del río sobre la presa

Q= Caudal de diseño

L'=Longitud del vertimiento corregida

### Diseño de la rejilla y canal de aducción:

En la figura que se muestra a continuación se detalla cómo es la captación a través de la rejilla al canal de aducción (Cabrera, 2018) como se puede observar en la Figura 4.



**Figura 4.** Captación a través de la rejilla al canal de aducción

**Fuente:** López (1995)

Se utilizó la ecuación de alcance de chorro para calcular el ancho del canal de aducción:

- El Alcance filo superior (m), se lo calculó mediante la siguiente ecuación:

$$X_s = 0.36Vr^{\frac{2}{3}} + 0.60H^{\frac{4}{7}}$$

Donde:

Xs= Alcance filo superior (m)

Vr= Velocidad del río (m)

H= Profundidad de la lámina de agua sobre la presa

- El Alcance del filo inferior (m), se lo calculó mediante la siguiente ecuación:

$$X_i = 0.18Vr^{\frac{4}{7}} + 0.74H^{\frac{3}{4}}$$

Donde:

$X_i$ = Alcance filo inferior (m)

$V_r$ = Velocidad del río (m)

$H$ = Profundidad de la lámina de agua sobre la presa.

- El Ancho del canal de aducción (m), se lo calculó mediante la siguiente ecuación:

$$B = X_s + 0.10$$

Donde:

$B$ = Ancho del canal de aducción (m)

$X_s$ = Alcance filo superior (m)

### **Longitud de la rejilla y el número de orificios**

Si se utiliza una rejilla con barrotes en la dirección del flujo, el área neta de la rejilla se determinó según la siguiente ecuación:

$$A_{neta} = a B N$$

Donde:

$A_{neta}$ = área neta de la rejilla (m<sup>2</sup>)

$a$  = separación entre barrotes (m)

$N$  = número de orificios entre barrotes

$B$  = Ancho de la rejilla (m)

Siendo  $b$  el diámetro de cada barrote, la superficie total de rejilla es:

$$A_{total} = (a + b) B N$$

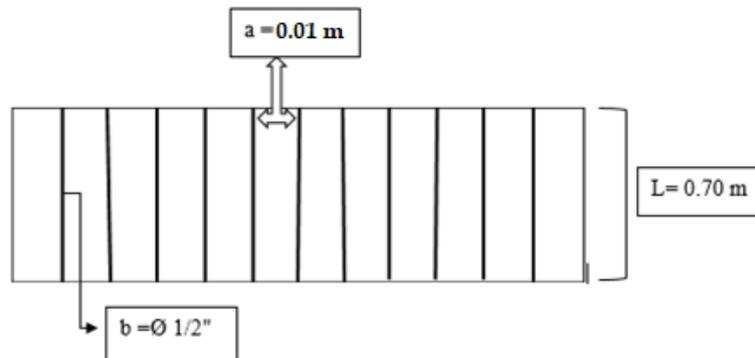
La relación entre área neta y área total es:

$$\frac{A_{neta}}{A_{total}} = \frac{a}{a + b}$$

$$A_{neta} = \frac{a}{a + b} A_{Total}$$

El área total en función de la longitud de la rejilla es igual a, como se observa en la Figura 5 a continuación:

$$A_{neta} = \frac{a}{a + b} Bl_r$$



**Figura 5.** Longitud de la rejilla de fondo

**Fuente:** López (1995)

Para determinar el caudal a través de la rejilla se utilizó la siguiente expresión igual a:

$$Q = K * A_{neta} * Vb$$

Donde:

$K = 0.9$  para flujo paralelo a la sección

$Vb$  = velocidad entre barrotes (máxima de 0.2 m/s)

### Niveles en el canal de aducción (conducción)

Asumiendo que todo el volumen de agua es captado al inicio del canal de aducción, el nivel de la lámina aguas arriba es obtenido por medio del análisis de cantidad de movimiento en el canal, como se observa en la Figura 6 y 7 a continuación (Cabrera, 2018).

$$h_o = \left[ 2h_e^2 + \left[ h_e - \frac{iL_r}{3} \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{2}{3} iL_r$$

Para que la entrega a la cámara de recolección se haga en descarga libre, se debe cumplir que:

$$h_e = h_c$$

$$h_c = \left[ \frac{Q^2}{gB^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

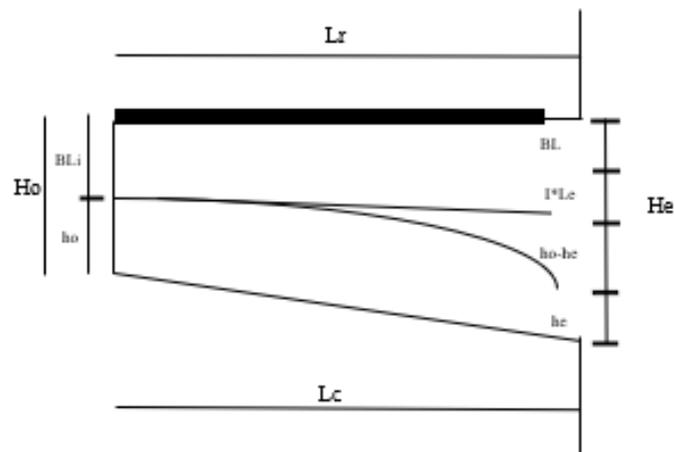
$g$  = Aceleración de la gravedad ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )

$i$  = Pendiente de fondo del canal

$h_o$  = Profundidad aguas arriba (m)

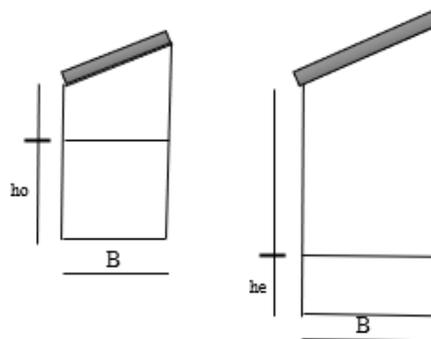
$h_e$  = Profundidad aguas abajo (m)

$h_c$  = Profundidad crítica



**Figura 6.** Perfil del canal de aducción

**Fuente:** López (1995)



**Figura 7.** Cortes transversales del canal de aducción aguas arriba y aguas abajo

**Fuente:** López (1995)

### Diseño de la cámara de recolección

Se determinó las dimensiones de la cámara de recolección con la aplicación de las ecuaciones de una corriente de agua, como se puede observar en la Figura 8, (Cabrera, 2018).

$$X_S = 0.36Vr^{\frac{2}{3}} + 0.60H^{\frac{4}{7}}$$

Donde:

$X_s$ = Alcance filo superior

$V_r$ = Velocidad del canal al final del canal

$h_e$ = Profundidad aguas abajo

$$X_i = 0.18V_r^{\frac{4}{7}} + 0.74H^{\frac{3}{4}}$$

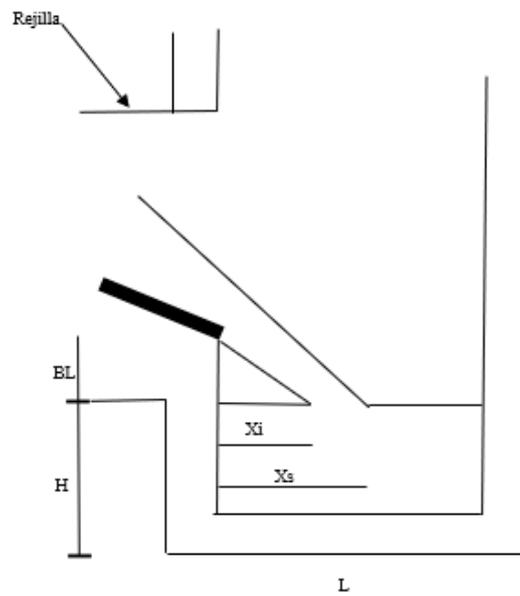
Donde:

$X_i$ = Alcance filo inferior

$V_r$ = Velocidad del canal al final del canal (m)

$h_e$ = Profundidad aguas abajo (m)

$$L = X_s + 0.3$$



**Figura 8.** Corte transversal de la cámara de recolección

**Fuente:** López (1995)

#### **5.4.2 Cálculo consumo y dotación de agua por habitante**

##### **Caudales de dotación**

Se estableció los caudales de dotación como se puede observar en la Tabla 5 a continuación; en base a la Norma CO 10.7 -601(Ecuador estratégico, 2018) de Diseño para Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Rural, de la Subsecretaría de Saneamiento Ambiental del Ministerio de Desarrollo

Urbano y Vivienda (Ecuador estratégico, 2018). En nuestro caso como se trabajó para una población de hasta 5000 habitantes para un clima cálido, la dotación media futura que se escogió está entre el rango de **170-200**.

**Tabla 5.** Dotaciones recomendadas

<b>Población (Habitantes)</b>	<b>Clima</b>	<b>Dotación media futura</b>
<b>Hasta 5000</b>	Frío	120-150
	Templado	130-160
	Cálido	170-200
<b>5000 a 500000</b>	Frío	180-200
	Templado	190-220
	Cálido	200-230
<b>Mas de 500000</b>	Frío	>200
	Templado	>220
	Cálido	>230

**Fuente.** (Ecuador Estrategico EP, 2018).

### **Consumo medio anual diario (Qmed)**

El caudal medio, se calculó mediante el promedio aritmético de los consumos diarios que se registran en un año y se obtiene multiplicando la dotación media futura, por la población al final del período y por un factor de fugas, cuyo resultado dividido entre 86400, permite obtener un caudal en litros por segundo (Ecuador estratégico, 2018). En nuestro caso la **Df** que está con una población de hasta 5000 habitantes con un clima cálido se optó por el valor de 180 que está entre el rango de (170-200).

$$Qm = \frac{f * Df * Pf}{86400}$$

Donde:

Df= Dotación futura

Pf= Población futura

f = Factor de fugas.

Factor de fugas (F) Se entiende por fuga la cantidad no registrada de agua, perdida por escape del sistema. Para este caso se adoptó el 20% de fugas Tabla 6.

**Tabla 6.** Caudales de diseño para los elementos de un sistema de agua potable

ELEMENTOS	CAUDAL
Captación de aguas superficiales	Máximo diario + 20%
Captación de aguas subterráneas	Máximo diario + 05%
Conducción de aguas superficiales	Máximo diario + 10%
Conducción de aguas subterráneas	Máximo diario + 05%
Red de distribución	Máximo diario + incendio
Planta de tratamiento	Máximo diario + 10%

**Fuente.** (Ecuador estratégico, 2018)

### **Caudal Máximo Diario (QMD)**

Se define como caudal máximo diario al caudal registrado en el día de máximo consumo al final del período de diseño. El QMD se lo obtiene multiplicando el caudal medio (Qm) por un coeficiente de mayoración KMD, cuyo valor, recomendado por la Norma es (1.3-1.5). Por lo que, el QMD será (Ecuador estratégico, 2018).

$$QMD = KMD * Qmd$$

Dónde:

KMD= Factor de mayoración máximo diario

Qmd= Caudal máximo diario

Según Norma CO 10.7-601; KMD tiene un valor de 1,3-1,5

### **Caudal Máximo Horario (QMH)**

El consumo máximo horario se determinó mediante el caudal registrado en la hora de máximo consumo al final del período de diseño.

El **QMH**, según la Norma CO 10.7 – 601, se determina multiplicando el Qm (caudal medio diario) por un coeficiente de variación horaria KMH, cuyo valor recomendado para el caso es (2-2.3). En nuestro caso se optó por el máximo valor que es 2.3.

Con lo anterior, el caudal máximo horario, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$QMH = KMH * Qm$$

Donde:

KMH= Factor de mayoración máximo horario

QMH= Caudal máximo horario (l/s)

Qm= Caudal medio

Según Norma CO 10.7-602; KMH tiene un valor de 2-2.3

### ***5.4.3 Diseño de reservorio***

Se realizó el diseño de un reservorio modelo tronco de pirámide para poder almacenar el agua necesaria que servirá de ayuda al momento de regar el cultivo de pasto, basada en la metodología de Cando, D. (2022).

#### **Capacidad del reservorio**

Para determinar la capacidad del reservorio, se consideró la compensación de las variaciones horarias de consumo y los eventuales desperfectos. Para el cálculo del volumen de almacenamiento se utilizó métodos analíticos, donde se debe disponer de consumo por horas y del caudal disponible de la fuente. Con el valor de volumen (V) se definió el reservorio, donde se considera la relación del ancho de la base (b) y altura (h).

#### **Parámetros a calcular para el diseño**

Con el caudal de entrada y diámetro de la tubería de descarga se determinó lo siguiente: el talud del reservorio, el borde libre, la altura mayor del agua, la pendiente transversal al largo del fondo, el ancho del borde de anclaje, la longitud de anclaje subterráneo, el tiempo de embalse, el volumen neto de diseño, el largo del fondo, el ancho del fondo, el área del fondo, el área de espejo del agua, altura menor de agua, volumen neto calculado. El volumen neto de diseño que se busca lograr aproximado es de los 102 m<sup>3</sup>. Una vez obtenidos los parámetros requeridos para el reservorio, se procedió a calcular el área para la geomembrana, con ayuda de los valores de la longitud del talud, el área de taludes y el área de anclajes.

### ***5.4.4 Determinación de las necesidades hídricas de los cultivos***

Para determinar las necesidades hídricas del cultivo de referencia se utilizó la información de los anuarios meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) e información del cultivo de pasto (kc y etapas fenológicas). Una vez obtenida la información se determinó lo siguiente (Guamán ,2021).

### **Evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto)**

Se determinó mediante la fórmula de Hargreaves (1985) dado que se ajusta a la información proporcionada por la estación de Zaruma: temperaturas (máxima y mínima), radiación solar y humedad relativa en un periodo de 27 años (1985-2011). La fórmula:

$$Eto = MF * TMF * CH * CE$$

Dónde:

Eto: Evapotranspiración de referencia (mm\_mes-1)

MF: Factor mensual de latitud, se obtiene de la tabla

TMF: Temperatura media mensual (°F)

CH: Factor de corrección para la humedad relativa

$$CH=0,166 (100-HR)$$

HR: Humedad relativa media mensual (%); si,  $HR > 64\%$ , se emplea la fórmula; si

$$HR < 64 \%, CH = 1.$$

CE: Factor de corrección para la altura o elevación del lugar

$$CE = 1 + 0,04 * \frac{E}{2000}$$

### **Evapotranspiración del cultivo (Etc)**

Para determinar la Etc, previamente se obtuvieron los valores de Kc de la FAO 56 que considera cuatro fases de desarrollo; inicial, desarrollo, mediados de período y finales del período Tabla 7. Se determinó mediante la ecuación propuesta por FAO 56 (2006), que relaciona la evapotranspiración de referencia por el coeficiente de cultivo, así:

$$ETc = ETo * Kc$$

Donde:

Etc: Evapotranspiración del cultivo (mmdía<sup>-1</sup>)

Eto: Evapotranspiración de referencia (mmdía<sup>-1</sup>)

**Tabla 7. Datos del cultivo**

Cultivo	Etapas crecimiento	Duración (Días)	Coef. Cult Kc	Pef= 70 % Pt (mm)	Nivel Agot. (fracción)
<b>Pasto</b>	Inicial	10	0.4	500	0.5
	Desarrollo	15	...		
	Mediados	75	1.05		
	Final	35	0.85		

**Fuente:** FAO 56 Evapotranspiración del Cultivo, guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.

### **Precipitación efectiva**

Para el cálculo se utilizó el programa CROPWAT 8.0, el cual aplica la ecuación de USDA Soil Conservation Service citada por la FAO 46 (2007); con base a la precipitación media mensual de las cuatro estaciones meteorológicas (El Prado, El salado, Chaguarpamba, Buna vista), se determinó la Pe.

### **Requerimientos de Riego**

Una vez obtenida la precipitación media ajustada para la zona de riego y haciendo usos del software Cropwat 8.0, se determinó la precipitación efectiva. En base a la siguiente expresión se determinó los requerimientos hídricos.

$$RR = ( Etc - Peff )$$

Dónde:

RR= Requerimiento Hídrico del cultivo (mm/mes)

Etc= Evapotranspiración del cultivo (mm/mes)

Peff= Precipitación efectiva (mm/mes)

#### **5.4.5 Propiedades físicas**

Para la determinación de las propiedades físicas se tomaron muestras de suelo alteradas e inalteradas a 30 cm en tres puntos diferentes de la parcela de riego; esto con el propósito de cumplir con los requerimientos de los análisis.

### **Densidad aparente**

Para calcular la densidad aparente, se recolectaron muestras sin alterar utilizando cilindros kopecky de 100 cm<sup>3</sup> de los distintos puntos de la parcela de riego. El procedimiento consistió en realizar 3 repeticiones en los distintos puntos de la parcela, resultando en un total de 9 muestras del terreno. Se las secó en el horno a una temperatura de 105 °C; al final, se determinó el peso de cada muestra. Para establecer la densidad aparente, se recurrió al método del anillo volumétrico, empleando la fórmula siguiente:

$$Da(g\ cm^{-3}) = \frac{Peso\ seco\ (g) * 100}{volumen\ del\ cilindro}$$

Donde:

Da= Densidad aparente.

### **Textura**

Para determinar la textura se tomó muestras alteradas del suelo, de los diferentes puntos de la parcela a una profundidad 30 cm. Las mismas que fueron trabajadas en el laboratorio de Suelos de la facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, utilizando el método de Bouyoucos.

#### ***5.4.6 Velocidad de infiltración del agua en el suelo***

Se determinó la velocidad de infiltración del agua en el suelo a través del uso de cilindros infiltrómetros simples, realizando tres repeticiones. Este procedimiento consiste en saturar el diámetro del suelo que ocupan los cilindros y posteriormente registrar la fluctuación del nivel de agua dentro de este, el proceso fue el siguiente:

- Se eligieron tres áreas de mayor importancia en el terreno de análisis, luego se procede a centrar correctamente entre el cilindro interior y exterior, los cuales se entierran hasta lograr una estabilidad adecuada.
- Los cilindros se introdujeron gradualmente y simultáneamente tanto en el interior como en el exterior, hasta alcanzar una profundidad de 10 cm.
- Los cilindros, una vez clavados, empezaron a llenarse de agua de manera gradual, comenzando por el exterior y posteriormente por el interior.
- Se recomienda iniciar las mediciones a 5, 10, 15, 30, 60 minutos, con intervalos de una hora cada una.

- Se registran las mediciones hasta que la tasa de infiltración se estabiliza y se mantiene estable. Para establecer la velocidad de infiltración básica, se aplicó la ecuación de Kostiakov.

#### **Infiltración acumulada (Iacum).**

A través de la ecuación de Kostiakov (1932); se graficó la curva de infiltración acumulada en la hoja de cálculo, con el tiempo acumulado (eje X) y lámina acumulada (eje Y), mediante el siguiente modelo matemático:

$$Iacum = A * t^B$$

Donde:

*Icum*: Infiltración acumulada (cm),

*A* y *B*: Parámetros de la ecuación (adimensional),

*t*: Tiempo (min).

#### **Infiltración instantánea (Iinst).**

Desde el punto de partida el cual es la ecuación potencial positiva de la infiltración acumulada se determinó la ecuación potencial negativa o infiltración instantánea:

$$Iinst = a * t^B$$

Donde:

*Iinst*: Infiltración instantánea (cm),

*t*: Tiempo (min),

*a* y *b*: constantes negativas (adimensional), que se determina despejando las siguientes ecuaciones:

$$A = \frac{a}{(b + 1)} \quad a = A(B + 1)$$

$$B = (b + 1) \quad b = B - 1$$

#### **Velocidad de infiltración básica (Ib).**

Para determinar la infiltración básica se derivó la ecuación de infiltración instantánea, y luego se multiplico por un factor de conversión para expresarla en mm h-1.

$$Ib = \left( \frac{mm}{h} \right) = a[(600t)]^b$$

### 5.4.7 Constantes hidrofísicas

#### Saturación

Para calcular la saturación, se emplearon muestras sin alterar obtenidas con los cilindros koopecky, que fueron introducidas en agua destilada hasta  $\frac{3}{4}$  de la altura del cilindro, durante varios días. Tras verificar que los poros de la muestra de suelo estaban totalmente saturados, se llevó a cabo el pesaje.

En estas condiciones la muestra de suelo se encuentra a un  $pF = 0$ .

#### Capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP)

Con las muestras alteradas de los diferentes puntos de la parcela de riego se enviaron al laboratorio del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador (INIAP). Para determinar los parámetros de CC y PMP por el método de la centrifuga.

### 5.4.8 Diseño Agronómico

El diseño agronómico consistió primordialmente en determinar las necesidades hídricas del cultivo, es decir se calculó la cantidad de agua que necesita el cultivo para su normal desarrollo sin ocasionar un déficit hídrico, dependiendo primordialmente de factores edafológicos y climatológicos básicamente y otros propios del cultivo. Se elaboró el diseño agronómico en cuanto a las necesidades hídricas del cultivo de pasto considerando la interrelación entre agua, suelo y clima para el diseño. A continuación, se detallan las diferentes fórmulas utilizadas para los cálculos correspondientes en relación al diseño agronómico, (Avidan, 1994).

- **(HA) Agua fácilmente aprovechable**

Es la altura de agua que retiene un suelo homogéneo entre los contenidos de agua de Capacidad de Campo y Punto de marchitez permanente, descontando el contenido de clastos del suelo.

$$HA = \left[ \frac{CC - PMP}{100} \right] * Zr * 10 \left( \frac{1 - \text{Pedregosidad}}{100} \right)$$

HA: Agua fácilmente aprovechable

CC= Contenido de humedad, a capacidad de campo a base el peso seco del suelo.

PMP= Contenido de humedad, en el punto de marchitez permanente, a base del peso seco del suelo.

Zr= Profundidad radicular efectiva del cultivo

- **(AFA) Agua fácilmente aprovechable**

Corresponde al agua posible de almacenar en el suelo y que las plantas pueden extraer sin afectar el rendimiento.

$$AFA = \left[ \frac{HA - Cr}{100} \right]$$

HA: Agua fácilmente aprovechable

Cr: Criterio de riego

- **(Fr) Frecuencia de riego**

Determinar cada que tiempo se debe aplicar el agua en el suelo o cuando regar. Se procedió a calcular.

$$Fr = \left[ \frac{AFA}{ETc} \right]$$

AFA: Agua fácilmente aprovechable

Etc: Evapotranspiración del cultivo

- **(Lar) Lámina a reponer**

Se calcula en función de un umbral de agotamiento de la humedad del suelo

$$Lar = Etc * Fr$$

Etc: Evapotranspiración del cultivo

Fr: Frecuencia de riego

- **(LB) Lámina bruta**

Expresa la cantidad de agua en exceso que debe aplicarse para compensar las pérdidas por escorrentía, evaporación, arrastre por el viento, percolación, etc.

$$LB = \left[ \frac{Lar}{(Efa/100)} \right]$$

LB: Lámina bruta

Lar: Lámina a reponer

Efa: Eficiencia de aplicación

- **(Amd) Área mínima por día**

El área mínima por día básicamente es el agua que se va a regar en un día en relación a la extensión o cantidad de terreno.

$$Amd = \left[ \frac{Campo (ha)}{Fr} \right]$$

Amd: Área mínima por día

Fr: Frecuencia de riego

- **(Ta) Tasa de aplicación**

La tasa de aplicación es la profundidad de lámina aplicada por un sistema de riego en un periodo de tiempo.

$$Ta = \left[ \frac{Qasp}{Minst} \right]$$

Ta: Tasa de aplicación

Qasp: Caudal del aspersor

Minst: Marco de instalación o separación entre laterales y aspersores

- **(Tr) Tiempo de riego**

Es la relación que hay entre la lámina bruta de riego a aplicar entre la TH lo cual indica el número de horas que se regará.

$$Tr = \left[ \frac{LB}{Ta} \right]$$

Tr: Tiempo de riego

LB: Lámina bruta

Ta: Tiempo de aplicación

#### **5.4.9 Diseño hidráulico**

Para realizar el diseño hidráulico se tomó en cuenta el caudal disponible para el adecuado funcionamiento del sistema y las pérdidas cargas que existen, lo cual permitió escoger e identificar los diámetros de tuberías en cada uno de los sectores de la finca, siguiendo los métodos de hidráulica ya establecidos en los distintos sistemas de riego (Banchón, 2021).

## **Diseño de la tubería lateral y secundaria de riego**

Caudal del lateral

El caudal de la lateral se determinó a partir de la siguiente expresión:

$$Ql = Qe * Nal$$

Donde:

Ql: caudal del lateral (l/s)

Qe: caudal del emisor (l/s)

Nal: número de aspersores por lateral (u)

El caudal de la tubería secundaria se obtuvo, con la siguiente ecuación:

$$Qs = Ql * Ne$$

Donde:

Qs: caudal de la secundaria (l/s)

Ql: caudal del lateral (l/s)

Ne: número de laterales funcionando (u)

## **Longitud del lateral y secundaria**

Se procedió a calcular las tuberías correspondientes para el diseño del sistema de riego, para aquello se toma el lateral más crítico para poder calcular y también así mismo a la tubería secundaria, con ayuda del programa software de diseño.

## **Pérdidas de carga por fricción**

Para obtener las pérdidas de carga por fricción en las tuberías se utilizó la fórmula matemática que emplea Moreno (2023) en su proyecto, la cual es la siguiente:

$$hf = J * L * F$$

Donde:

hf: pérdida de carga en la tubería (m)

J: gradiente hidráulico (m.m -1)

L: longitud de la tubería (m)

F: coeficiente de reducción de pérdidas de Christiansen

### **Coefficiente de Christiansen (F)**

Se obtuvo con la ecuación:

$$F = \frac{2n}{(2n - 1)} * \left(\frac{1}{B + 1}\right) * \left(\frac{(B - 1)^{\frac{1}{2}}}{6n^2}\right)$$

Donde:

F: factor de Christiansen

B: para la tubería P.V.C (1,8); polietileno (1,75); aluminio (1,9)

N: número de salidas en la tubería (u)

### **Velocidad del agua**

Se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{Q}{A}$$

Donde:

V: velocidad media del agua en la tubería (m/s)

Q: caudal (m/s)

A: área de la sección circular interna de la tubería (m<sup>2</sup>)

### **Diseño de la tubería principal Caudal principal**

El caudal se tomó como referencia, del valor obtenido por los aforos volumétricos, y se lo calculó mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Qp: Caudal de la principal (l/s)

V: volumen del recipiente (l)

t= Tiempo de llenado (s)

### **Pérdidas de carga por fricción longitudinal**

Se utilizó la fórmula de Hazen-Williams, que se presenta a continuación:

$$hf = J * L$$

Donde:

hf: pérdida de carga en la tubería para una longitud (m)

J: gradiente hidráulico (m. m<sup>-1</sup>)

L: longitud de la tubería (m)

El gradiente hidráulico se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$J = 1.21 * 10^{10} * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} * (D)^{-4.87}$$

Donde:

Q: caudal (l/h)

C: coeficiente de fricción

D: diámetro interior de la tubería (mm)

En la tabla 8 se observa el coeficiente de rugosidad absoluta de materiales para la expresión Hazen-Williams; en nuestro caso como se trabajó con el material de PVC, el valor de C a utilizar va entre 140-150.

**Tabla 8.** Coeficiente de rugosidad absoluta de materiales para la expresión de Hazen-Williams

<b>Material</b>	<b>C</b>
Asbesto cemento	140
Hierro galvanizado	120
Latón	130-140
Vidrio	140
Ladrillo de saneamiento	100
Plomo	130-140
Hierro fundido, nuevo	130
<b>Plástico (PE, PVC)</b>	140-150
Hierro fundido, 10 años de edad	107-113
Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido, 20 años de edad	89-100
Acero	140-150
Hierro fundido, 40 años de edad	75-90
Acero rolado	130
Concreto	64-83
Lata	110
Cobre	120-140
Madera	130
Hierro dúctil	120
Hormigón	120-140

**Fuente:** Alegret Breña, E., & Martínez Valdés, Y. (2019)

## 6. Resultados

### 6.1 Resultados del primero objetivo

*Caracterizar la microcuenca Porotillo en sus aspectos morfológicos e hidráulicos con fin de aprovechamiento del recurso hídrico.*

#### **6.1.1 Parámetros morfométricos de la microcuenca porotillo**

En la Tabla 9, se presentan los resultados de los parámetros morfométricos de la Microcuenca Porotillo. Con el levantamiento topográfico y la topografía de la zona de estudio se delimitó el área que cubre la microcuenca es 0.16 Km<sup>2</sup>, y se determinó el punto de interés (zona de captación del recurso hídrico); en la cota de captación 900 msnm.

**Tabla 9.** Parámetros morfométricos calculados a través del SIG

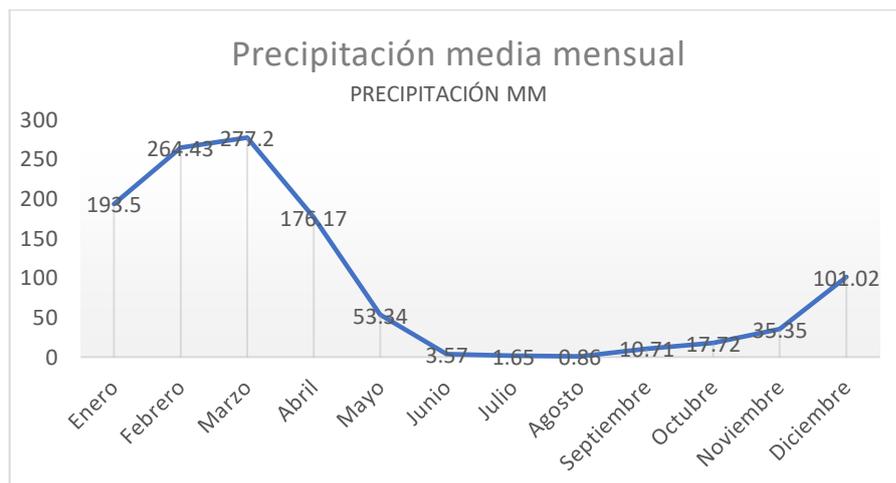
PARAMETROS MORFOMETRICOS (PM)	PM	VALOR	UNIDADES
Superficie de cuenca.	A	0.16	Km2
Perímetro de la cuenca.	P	2.02	Km
Elevación media.	Em	1128.61	m
Pendiente media (grados).	Pm	27.17	grados
Pendiente media (porcentaje).	Pm	52.9	%
Coefficiente de compacidad (Gravelius).	Kc	1.41	
Relación circular.	Rci	0.51	
Relación hipsométrica.	Rh	0.8	
Longitud del eje del río principal.	Lc	0.32	Km
Longitud directa del río principal.	La	0.55	Km
Coefficiente de sinuosidad hidráulico.	Sh	0.58	
Altitud inicial.	Emx	1252	m
Altitud media.	Emm	978	m
Pendiente promedio del río principal.	Sc	48.67	%
Tiempo de concentración Kirpich.	Tc	0.03	horas
Tiempo de concentración de California Highways and Public Works.	Tc	0.03	horas

**Fuente:** Elaborado Autor

La quebrada Porotillo, de acuerdo con la superficie se considera a esta unidad hidrográfica como una “microcuenca”. El perímetro de la microcuenca es 2.02 km (Tabla 9), siendo este valor muy importante para los posteriores cálculos correspondientes. En relación con la longitud directa del eje del río principal de 0.32 km, se deduce que la microcuenca tiene una forma alargada, así también se considera la longitud directa del río principal como “largo”, siendo el valor de 0,55 km, la pendiente media es de 52,9 % clasificándola como muy empinada; haciendo alusión a la forma que presenta este tipo de terreno pedregoso.

### 6.1.2 Precipitación media mensual generada en la microcuenca Porotillo

La estimación de la precipitación media para la microcuenca Porotillo por medio del método de las isoyetas el mayor valor se presenta en el mes de marzo con 277.20 mm; y el menor valor es en el mes de agosto con 0,86 mm registrada en el mes de agosto. Las mayores precipitaciones ocurren en los meses de diciembre-abril; mientras que las menores precipitaciones ocurren en los meses de mayo-noviembre, existiendo una época marcada en las estaciones del año como es el invierno y el verano. En la figura 9 se muestra los valores de precipitación media mensual, los cuales los podemos corroborar en el (Anexo 12) en los Mapas de precipitación media mensual de la Microcuenca Porotillo.

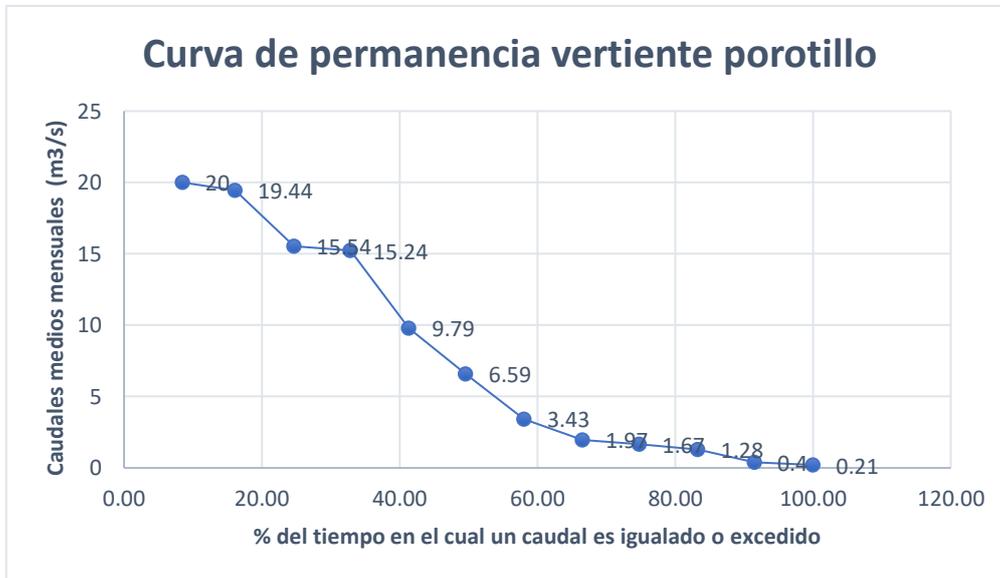


**Figura 9.** Precipitación media mensual de la Microcuenca Porotillo  
**Fuente:** Elaborado Autor

### 6.1.3 Curva de duración o permanencia de caudales

Como se puede observar en la Figura 10, se obtuvo como resultado caudales medios mensuales que van entre el rango de **3.43 a 0.21 (m³/s)**, para los meses de julio-diciembre, presentándose los menores caudales. Mientras que los mayores caudales se presentan en los primeros meses del año de enero-junio que van entre el rango de **20 a 6.59 (m³/s)**. Con estos

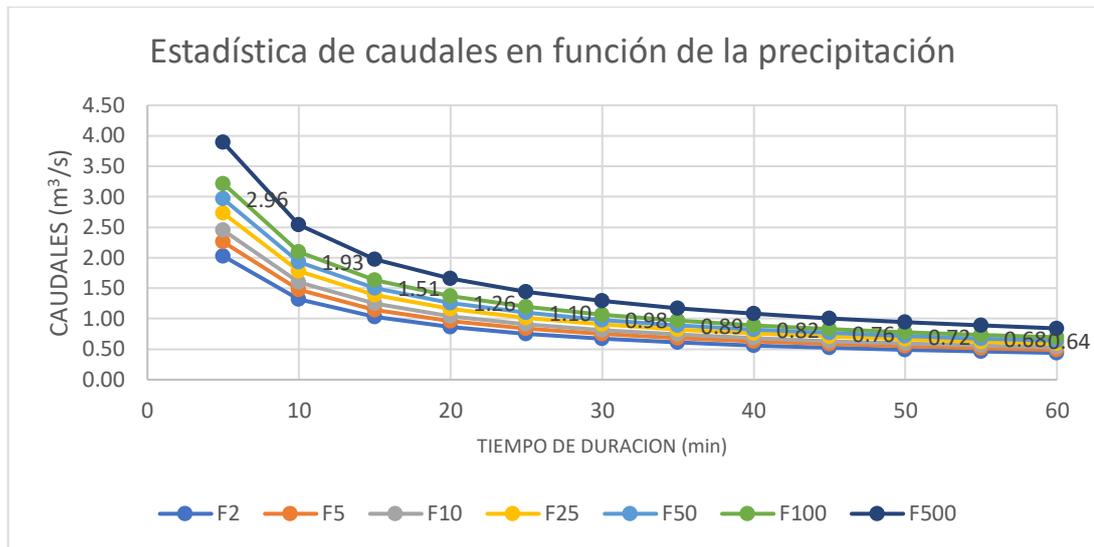
valores se puede dar cuenta que de acuerdo a la pendiente pronunciada en el tramo inicial de la curva indica que los caudales altos se presentan durante períodos cortos; mientras que los menores caudales se presentan durante periodos largos. En la Figura 10 se muestra la curva de permanencia de la vertiente Porotillo donde se ve la variación de los máximos y mínimos caudales con respecto al tiempo.



**Figura 10.** Curva de duración de caudales vertiente Porotillo  
**Fuente:** Elaborado Autor

#### **6.1.4 Cálculo del caudal de la microcuenca aplicando el método Racional**

A continuación, en la Figura 11, se presenta una estadística de caudales en función de las precipitaciones máximas mensuales para un periodo de 30 años (1982-2011), de la estación meteorológica Zaruma cercana al área de estudio. Para nuestro proyecto se tomó valores de caudales máximos en base a un frecuencia o periodo de retorno de 50 años. Se obtuvo como resultado un caudal máximo de 2.96 (m<sup>3</sup>/s), y un caudal mínimo de 0.64 (m<sup>3</sup>/s), Con estos valores se puede dar cuenta que los mayores caudales se presentan durante tiempos de duración más cortos, a diferencia de los menores caudales el cual su probabilidad de ocurrencia se presenta durante un mayor tiempo de duración.



**Figura 11.** Caudales máximos en función de la precipitación  
**Fuente:** Elaborado Autor

Finalmente, el caudal calculado para un periodo de retorno de 50 años con una intensidad máxima de precipitación es de 158.77 mm/h, un coeficiente de escorrentía ponderado de 0.4175 y un área de 0.16 Km<sup>2</sup> es el siguiente: m<sup>3</sup>/s

$$Q = 2.96 \frac{m^3}{s}$$

Donde:

Q: Caudal máximo [m<sup>3</sup>/s]

C: Coeficiente de escorrentía medio ponderado de la cuenca, que depende de la cobertura vegetal, la pendiente y el tipo de suelos, sin dimensiones.

A: Área de la cuenca. [Km<sup>2</sup>]

I: Intensidad de la Lluvia de Diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y con frecuencia igual al período de retorno seleccionado para el diseño (Curvas de I-D-F) [mm/h].

En la Tabla 10 se presentan los resultados obtenidos de los aforos realizados en el punto de interés de la microcuenca Porotillo; por el método volumétrico, podemos darnos cuenta que durante los aforos realizados durante el periodo (octubre 2021 a Julio 2022); el caudal que menos registro fue el mes de abril de 2022 con un volumen promedio de 4.98 l/s; y el máximo fue el mes de octubre de 2021 con un volumen promedio de 5.26 l/s.

**Tabla 10.** Aforos volumétricos microcuenca Porotillo

AÑO	MESES	AFOROS	LECTURAS (l/s)	PROMEDIO (l/s)
2021	OCTUBRE	1	5.35	5.26
		2	5.45	
		3	4.98	
	NOVIEMBRE	1	5.17	5.09
		2	4.96	
		3	5.13	
	DICIEMBRE	1	5.05	5.14
		2	4.83	
		3	5.55	
2022	ENERO	1	5.14	4.98
		2	4.71	
		3	5.1	
	FEBRERO	1	5.48	5.20
		2	5.25	
		3	4.88	
	MARZO	1	5.15	5.06
		2	4.94	
		3	5.1	
ABRIL	1	5.06	4.82	
	2	4.6		
	3	4.8		
MAYO	1	5.16	4.98	
	2	4.85		
	3	4.93		
JUNIO	1	4.81	4.95	
	2	4.99		
	3	5.05		
JULIO	1	5.17	5.19	
	2	5.35		
	3	5.05		
<b>Promedio</b>				5.07
<b>Volumen Recipiente</b>				18 L

Fuente: Elaborado Autor

## 6.2 Resultados del segundo objetivo

*Diseñar la infraestructura hidráulica para la captación, conducción, almacenamiento y distribución del agua de la vertiente Porotillo de la Finca San Héctor.*

### 6.2.1 Diseño de la Bocatoma tipo rejilla de fondo

Para el diseño de la bocatoma tipo rejilla de fondo se consideró un caudal máximo de  $2.95\text{m}^3/\text{s}$ , el ancho de la presa es de 1.0 m, el ancho del río en el lugar de la captación es de 1.5 m; por lo cual la velocidad del río sobre la presa fue de 2.94 m/s, cumpliendo con las condiciones a continuación ( $0.3\text{ m/s} < 2.94\text{m/s} < 3.0\text{ m/s}$ ). En cuanto a la longitud de la rejilla se adoptó un valor de 0.70 m y con un número de orificios de 75; se adoptaron barrotes de  $\frac{1}{2}$ "

(0.0127 m), con una separación entre barrotes de 1 cm; en cuanto a la velocidad del agua al final del canal fue de 4.16 m/s, adoptándose una cámara cuadrada de recolección de 1.5 m, finalmente la altura de los muros de contención fue de 1.5 m. Como se puede observar en la Tabla 11 los resultados que se realizó para el diseño de la bocatoma tipo rejilla de fondo.

**Tabla 11.** Diseño Bocatoma tipo rejilla de fondo

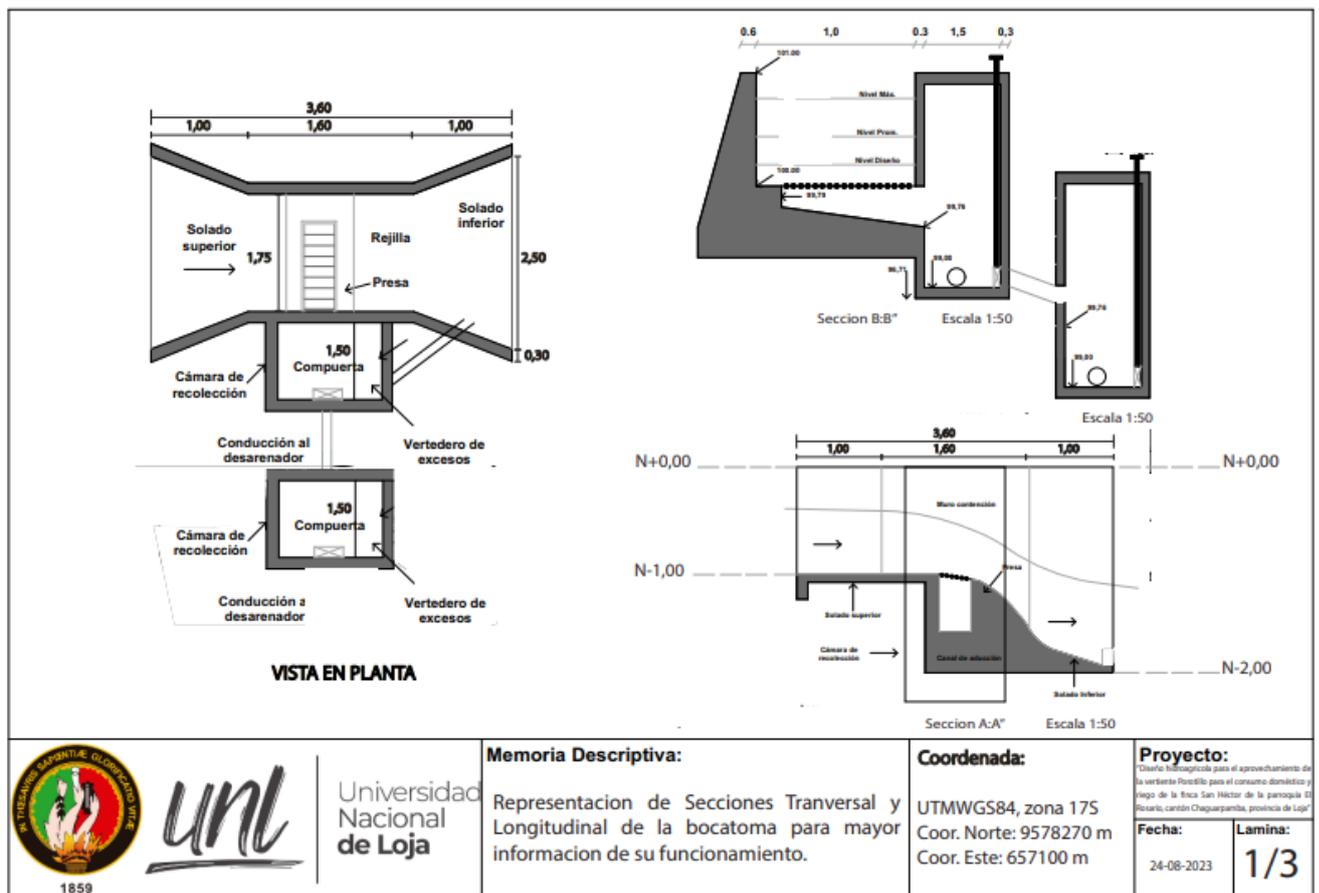
<b>Información previa para diseño bocatoma con rejilla de fondo</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
<b>Diseño de la bocatoma o captación</b>		
Caudal a captar	2.95	m <sup>3</sup> /s
Ancho del río	1.5	m
Ancho de la presa	1.0	m
Espesor de la lámina de agua para el caudal de diseño	1.37	m
Corrección por las dos contracciones laterales	0.73	m
Velocidad del río sobre la presa	2.94	m/s
<b>Diseño de la rejilla y el canal de aducción</b>		
Alcance del filo superior	1.45	m
Alcance del filo inferior	1.27	m
Ancho canal de aducción	1.55	m
<b>Longitud de la rejilla y el número de orificios</b>		
Se adoptan barrotes de	½" (0.0127)	m
Separación entre barrotes	1	cm
Velocidad entre barrotes	0.1	m/s
Área neta	32.77	m <sup>2</sup>
Longitud de la rejilla	0.70	m
Número de orificios	75	
<b>Se adoptan 70 orificios separados 1 cm entre sí, con lo cual se tienen las siguientes condiciones finales</b>		
Área neta	0.70	m <sup>2</sup>
Velocidad entre barrotes	10.93	m/s
Longitud de la rejilla	0.0095	m
<b>Niveles de agua en el canal de aducción</b>		
Aguas abajo	1.77	m
Aguas arriba	2.96	m
Velocidad del agua al final del canal	2.22	m/s
<b>Diseño de la cámara de recolección</b>		
Alcance filo superior	1.44	m
Alcance filo Inferior	1.42	m
Se adopta una cámara cuadrada de recolección de 1.5 m de lado.		
<b>Cálculo de la altura de los muros de contención</b>		
Altura de los muros de contención	1.5	m

**Fuente:** Elaborado Autor

**Diseño de la bocatoma tipo rejilla de fondo con sus respectivas partes y dimensiones, esto representado en vista en planta**

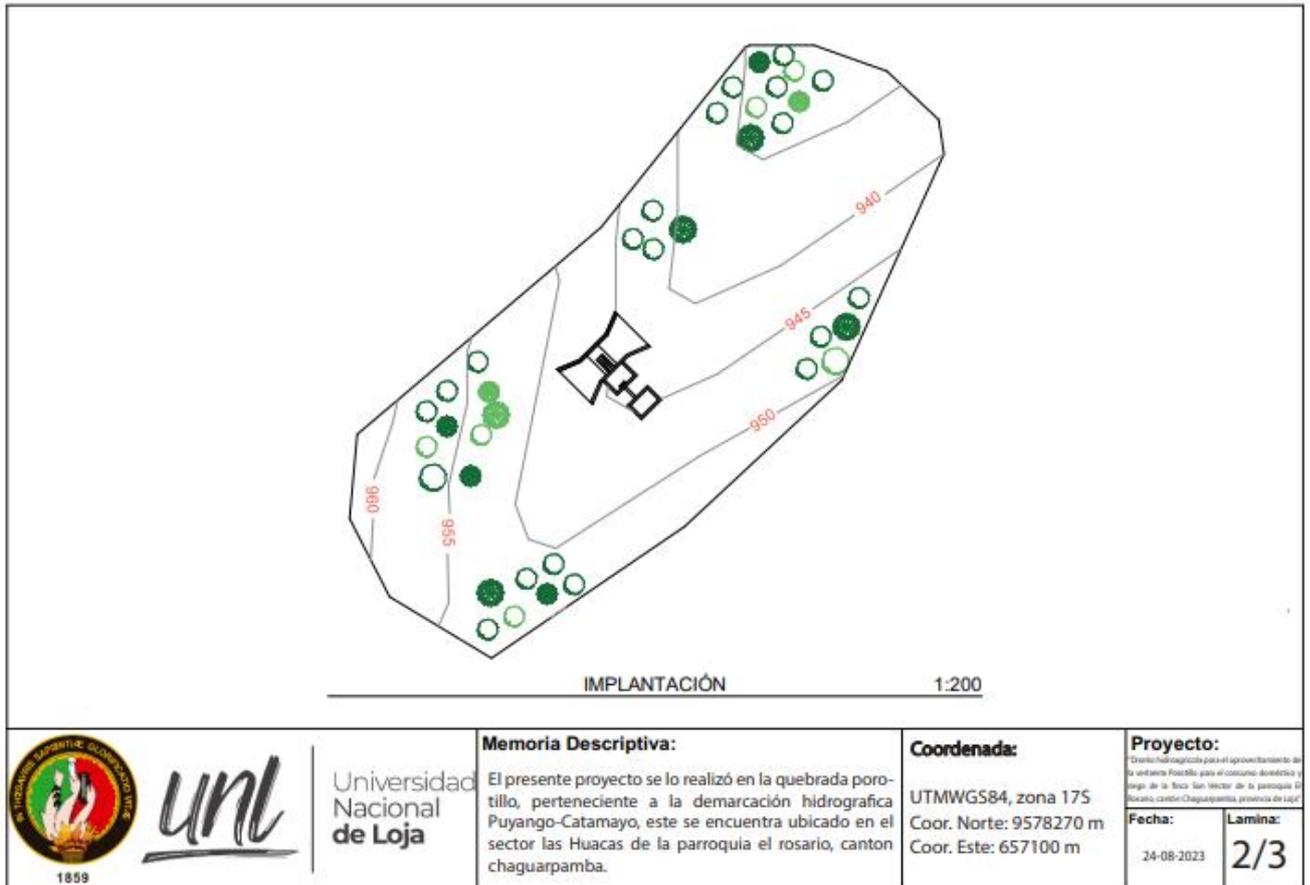
Como se puede observar en la Figura 12 a continuación se presenta el diseño de la bocatoma tipo rejilla de fondo con sus respectivas partes: la rejilla, la presa, la cámara de recolección, el solado superior e inferior respectivamente, los muros de contención. En cuanto

a las medidas tenemos un ancho de la presa de 1.0 m, la longitud de la rejilla de 0.75 m, una cámara cuadrada de recolección de 1.5 m de lado, y un ancho total desde el alcance del filo superior al inferior de 1.6 m. También se muestra el diseño de las diferentes secciones de la bocatoma tipo rejilla de fondo tanto de forma transversal como longitudinalmente; así como la lámina sobre la presa de los diferentes niveles de la misma: el nivel con que se diseñó la obra de captación de 100.04 m. De igual manera los cortes de la presa, solado superior e inferior, cámara de recolección, y los muros de contención, en la figura 13 se observa la implantación de la bocatoma en la topografía.



**Figura 12.** Diseño de la bocatoma tipo rejilla de fondo con sus respectivas partes y dimensiones, esto representado en vista en planta con sus diferentes cortes

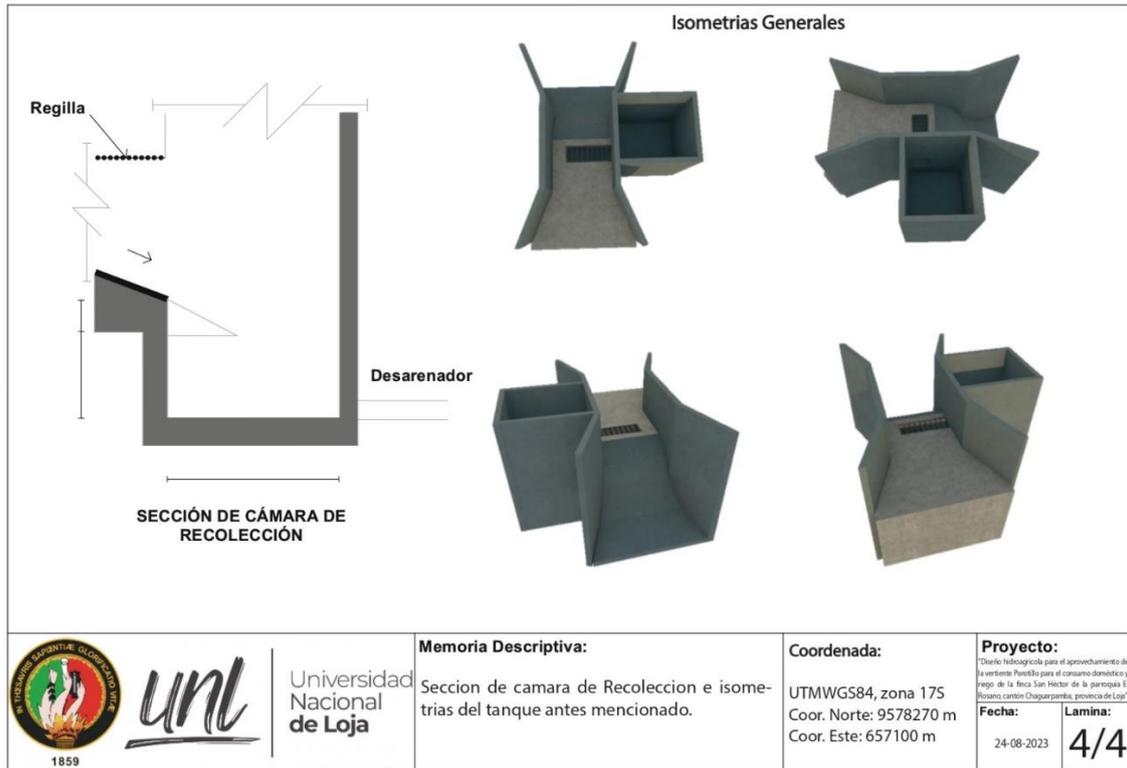
**Fuente:** Elaborado Autor



**Figura 13.** Implantación de la bocatoma tipo rejilla de fondo en la topografía de la zona  
**Fuente:** Elaborado Autor

## Diseño de Sección de cámara de recolección e isometrías del tanque antes mencionado

Como se observa en la Figura 14 se presenta la sección de la cámara de recolección e isometrías generales de la bocatoma tipo rejilla de fondo.



**Figura 14.** Diseño de Sección de cámara de recolección e isometrías del tanque  
Elaborado: Autor

### 6.2.2 Cálculo del consumo y Dotación de agua

El consumo medio anual se obtuvo multiplicando la dotación media futura por la población al final del período y por un factor de fugas, cuyo resultado dividido entre 86400, permite obtener un caudal en litros por segundo, obteniendo un consumo medio de 0.5 l/s.

El consumo máximo diario se lo obtuvo multiplicando el caudal medio ( $Q_m$ ), por el coeficiente de mayoración. El coeficiente de mayoración (KMD), cuyo valor, recomendado por la Norma es de (1.3 a 1.5). En nuestro caso el coeficiente de mayoración escogido fue de 1.5. Por lo que, el QMD es 0.75 l/s.

El consumo máximo horario, según la Norma CO 10.7 – 601, se determinó multiplicando el  $Q_m$  (caudal medio diario) por un coeficiente de variación horaria KMH, cuyo

valor recomendado para el caso es (2 a 2.3). En nuestro caso el coeficiente de variación horaria escogido fue de 2.3. Por lo que el caudal máximo horario es de 1.15 l/s. En la Tabla 12 se presenta los resultados obtenidos en relación al consumo medio anual, consumo máximo diario y consumo máximo horario. Los cálculos correspondientes en relación a estos parámetros se los observa en el Anexo10.

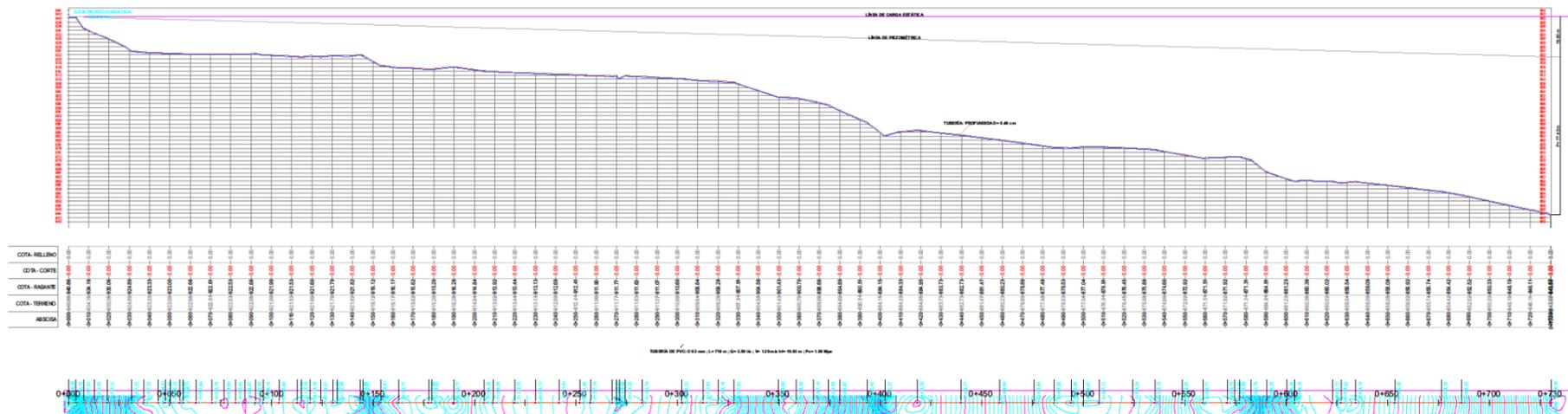
**Tabla 12.** Cálculo del consumo y Dotación de agua

<b>Consumo y dotación de agua</b>			
<b>Requerimientos</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resultado</b>
<b>Consumo medio anual</b>	$Q_m = (f * D_f * P_f) / 86400$	l/s	0.5
<b>Consumo máximo diario</b>	$Q_{MD} = K_{MD} * Q_m$	l/s	0.75
<b>Consumo máximo horario</b>	$Q_{MH} = K_{MH} * Q_m$	l/s	1.15

**Fuente:** Elaborado Autor

### **Perfil Conducción principal**

Como se puede observar en la Figura 15, se presenta el plano donde se observa el alineamiento y perfil longitudinal del perfil de la conducción, la distancia de conducción de la tubería es de 718m a una profundidad de 0.40 cm, donde se captó el recurso hídrico empieza en la abscisa (0+000.00), y termina en la abscisa (0+730.00), la diferencia de nivel o altura que hay desde el inicio de la captación hasta la zona de almacenamiento es de 97.36 m, ya que empieza en la cota 940.86 m y termina en la cota 843.87 m, presentando una pérdida de carga (hf) de 19.93 m y una presión nominal de 1.00MPa.



	Memoria Descriptiva:	Coordenadas:	Proyecto:
		UTM WGS 84, ZONA 17S	"Diseño hidrográfico para el aprovechamiento de la vertiente Porotí para el consumo doméstico y riego de la finca San Héctor de la parroquia Rosario, cantón Chaguarpamba, provincia de Loja"
			Fecha:
			Lamina:

**Figura 15.** Perfil de conducción  
Elaborado: Autor

### 6.2.3 Diseño del reservorio

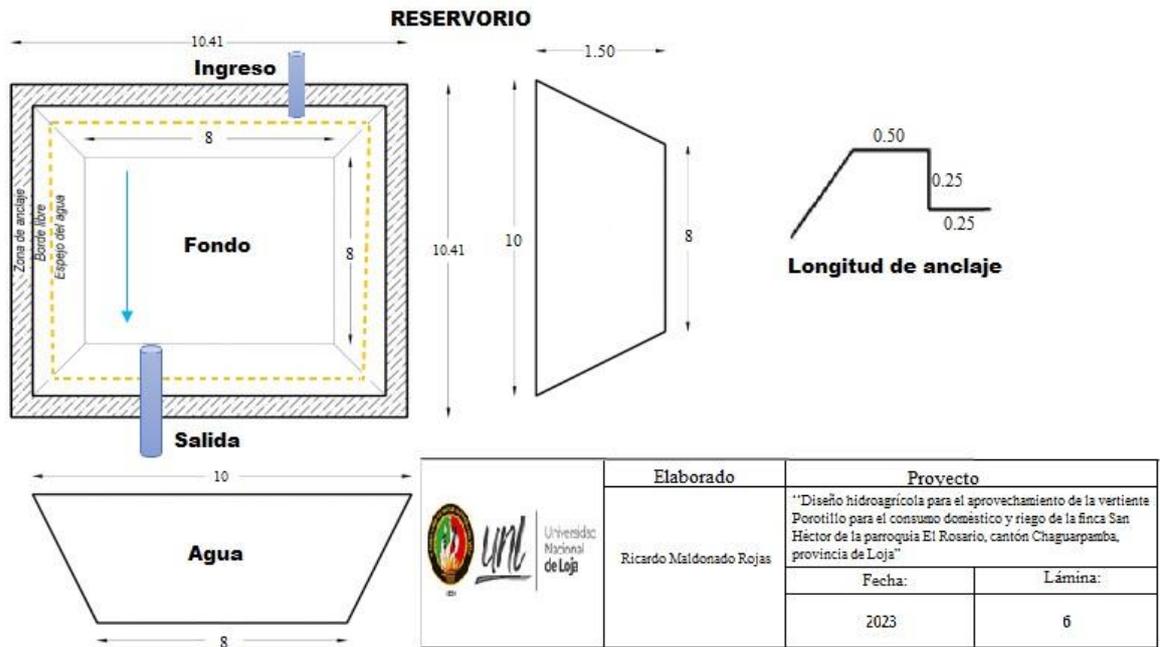
En la Tabla 13, se puede apreciar los valores con respecto al diseño del reservorio; el cual tiene una capacidad de almacenamiento de  $102 \text{ m}^3$ , el talud es de 0.67 con un borde libre de 0.30 m, el caudal de entrada es de 3.5 l/s con un diámetro de la tubería de descarga de 76.2 mm (3pulg), tanto la longitud del anclaje subterráneo como el ancho del borde de anclaje es de 0.50 m, el área de fondo es de  $64 \text{ m}^2$ , tanto el largo como el ancho de fondo es de 8 m, mientras que el área del espejo de agua es de  $100 \text{ m}^2$ , el tiempo de embalse es de 5 horas.

**Tabla 13.** Valores del diseño hidráulico del reservorio

<b>Datos</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Talud	0.67	(Z)
Altura mayor del agua	1.50	m
Borde libre	0.30	m
Caudal de entrada	3.50	l/s
Ø tubería de descarga	3.00	pulg
Pendiente transversal a L del fondo	3.00	%
Ancho del borde de anclaje	0.50	m
Longitud del anclaje subterráneo	0.50	m
Tiempo de embalse	5.00	horas
<b>Dimensionamiento y cálculos hidráulicos</b>		
Volumen neto de diseño	102.00	$\text{m}^3$
Largo del fondo	8.00	m
Ancho del fondo	8.00	m
Área del fondo	64.00	$\text{m}^2$
Área del espejo de agua	100.20	$\text{m}^2$
Altura menor del agua	1.25	m
Reduc.volumen por pendiente	8.16	$\text{m}^3$
Volumen neto calculado	113.98	$\text{m}^3$
Tiempo mínimo de descarga	6.00	horas
Caudal máximo de descarga	16.08	l/s
<b>Cálculo de áreas</b>		
Longitud de Talud	2.17	m
Área del Fondo	64.00	$\text{m}^2$
Área de taludes	79.79	$\text{m}^2$
Área de bordes	21.82	$\text{m}^2$
Área de Anclajes	22.82	$\text{m}^2$
Área neta geomembrana	188.43	$\text{m}^2$

**Fuente:** Elaborado Autor

Como se observa en la Figura 16, se presenta el plano del diseño del reservorio modelo tronco de pirámide.



**Figura 16.** Plano del diseño del reservorio  
**Fuente:** Elaborado Autor

#### 6.2.4 Necesidades hídricas de los cultivos

Para la determinación de las necesidades hídricas de los cultivos se obtuvieron valores de: Evapotranspiración del cultivo de referencia ( $E_{To}$ ), coeficiente del cultivo ( $K_c$ ), Evapotranspiración del cultivo ( $E_{Tc}$ ), Precipitación efectiva ( $P_{eff}$ ), y los Requerimientos de riego del cultivo.

#### Evapotranspiración del cultivo de referencia ( $E_{To}$ )

Con datos de temperatura y radiación solar de la estación meteorológica Zaruma y con el método de Hargreaves, se obtuvieron los valores mensuales de la evapotranspiración del cultivo de referencia. La mayor  $E_{To}$  durante el año se presenta en el mes de septiembre con un valor de 11.50 mm/día; mientras que los demás meses del año mantienen valores entre un rango de 3.65 a 4.93 mm/día. En la Tabla 14 se presenta los resultados obtenidos en cuanto a la evapotranspiración del cultivo de referencia ( $E_{To}$ ).

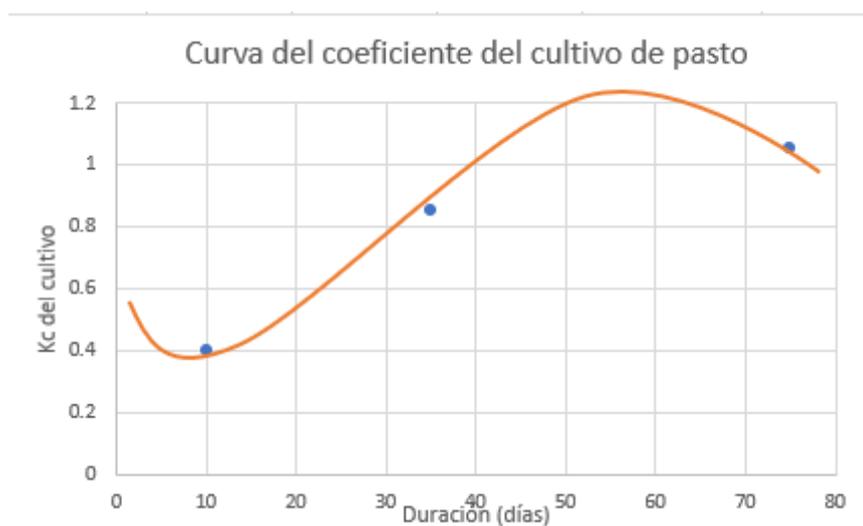
**Tabla 14.** Evapotranspiración del cultivo de referencia

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Pro
<b>Eto (mm/día)</b>	3.77	3.75	3.98	3.65	3.67	3.7	3.86	4.88	11.5	5.01	4.93	4.24	4.74

**Fuente:** Elaborado Autor

### Coefficiente del cultivo

Como se puede observar en la Figura 18, de acuerdo a valores de la FAO 56, los datos del cultivo de pasto que para su etapa de crecimiento que en su fase inicial la duración de 10 días con un Kc de 0.4, su etapa de desarrollo con una duración de 15 días y un Kc de 0.4, su etapa de mediados con una duración de 75 días y un Kc de 1.05, y su etapa final con una duración de 35 días y un Kc de 0.85.



**Fig 17.** Coeficiente del cultivo de pasto (Kc)  
**Fuente:** Elaborado Autor

### Evapotranspiración del cultivo (ETc)

Como se puede observar en la Tabla 15, se muestran los resultados obtenidos de la evapotranspiración del cultivo (Pasto), con un Kc ajustado cuyo valor es de 1. En base a estos resultados se puede observar que el mayor índice de requerimiento hídrico es el mes de septiembre con un valor de 11.5 mm/día y el menor índice se presenta en el mes de abril con un valor de 3.65 mm/día. Cabe mencionar que estos valores se mantienen en los demás meses del año como valores promedios de acuerdo al requerimiento hídrico del cultivo.

**Tabla 15.** Evapotranspiración del cultivo de referencia, coeficiente del cultivo y evapotranspiración del cultivo

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Pro
<b>Eto (mm/día)</b>	3.77	3.75	3.98	3.65	3.67	3.7	3.86	4.88	11.5	5.01	4.93	4.24	4.74
<b>Kc</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>ETc (mm/día)</b>	3.77	3.75	3.98	3.65	3.67	3.7	3.86	4.88	11.5	5.01	4.93	4.24	4.74

**Fuente:** Elaborado Autor

### Precipitación efectiva

Utilizando software CROPWAT 8.0 y con los datos de precipitación media de las cuatro estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio (Prado, Salado, Chaguarpamba, Buena Vista), la zona de estudio tiene precipitación efectiva máxima los meses de enero a marzo con valores entre 130.8 a 197.8 mm/mes; también está abril con un valor de 116.9 mm/mes, y precipitaciones mínimas de 0.6 a 56.8 mm/mes de octubre a diciembre. En la Tabla 16 se muestra los resultados obtenidos en cuanto a la precipitación efectiva (Peff).

**Tabla 16.** Precipitación efectiva

Meses	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Pro
<b>Peff (mm/mes)</b>	130.8	187.5	197.8	116.9	22	0	0	0	0	0.6	11.2	56.8	60.3
<b>Peff (mm/día)</b>	4.22	6.7	6.38	3.9	0.71	0	0	0	0	0.02	0.37	1.83	2.01

**Fuente:** Elaborado Autor

### Requerimientos de riego del cultivo

Para determinar los requerimientos hídricos del cultivo, se aplicó la metodología descrita anteriormente. Los resultados se presentan en la Tabla 17, donde se puede apreciar que los requerimientos hídricos varían según la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva. De acuerdo con estos datos, los meses de enero, febrero, marzo y abril no necesitan riego, ya que la precipitación supera a la evapotranspiración del cultivo. Por el contrario, el mes con mayor demanda de agua es septiembre, con un valor de 11.50 mm/día.

**Tabla 17.** Evapotranspiración del cultivo, precipitación efectiva y requerimientos de riego para el cultivo de pasto.

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Pro
<b>Etc (mm/día)</b>	3.77	3.75	3.98	3.65	3.67	3.7	3.86	4.88	11.5	5.01	4.93	4.24	4.74
<b>Peff (mm/día)</b>	4.22	6.7	6.38	3.9	0.71	0	0	0	0	0.02	0.37	1.83	2.01
<b>RR</b>					2.96	3.7	3.86	4.88	11.5	4.99	4.56	2.41	2.73

**Fuente:** Elaborado Autor

### 6.2.5 Propiedades físicas de suelo

Las propiedades físicas permiten conocer mejor las actividades agrícolas como, disponibilidad de nutrientes, el drenaje, la irrigación, la conservación de suelos y agua. Con relación a esto es necesario calcular las siguientes propiedades. En la Tabla 18 se observan los valores de densidad aparente de 1.20 g/cm<sup>3</sup>, la textura del suelo el cual corresponde a un suelo franco, el porcentaje de saturación de 49%, en cuanto a la capacidad de campo es de 22.5% G y el punto de marchitez permanente es de 10.8% G, mientras que la velocidad de infiltración básica que presenta este suelo es de 9 mm h<sup>-1</sup>. Todos estos valores obtenidos fueron tomados de diferentes puntos de la parcela de riego a una profundidad de 30 cm.

**Tabla 18.** Propiedades físicas del suelo

Profundidad	Da (g/cm <sup>3</sup> )	Textura	Saturación (%)	Capacidad de campo (CC) % G	Punto marchitez permanente (PMP) % G	Velocidad de infiltración Básica (VIB) mm/h
0-30 cm	1.20	FRANCO	49	22.5	10.8	9

**Fuente:** Elaborado Autor

### 6.2.6 Diseño agronómico riego por aspersión

En la Tabla 18 se presentan los resultados para el cálculo del diseño agronómico; para nuestro diseño se utilizó la metodología Avidán (1994), para una superficie de plantación de 5600 m<sup>2</sup> (0.56 ha), para el cultivo de pasto variedad chilena, con una frecuencia de riego de 3 días, el área de riego mínima/día es de 0.17 ha con una tasa de aplicación de 3.1mm/h, con un tiempo de riego de 6 horas, la eficiencia de aplicación del sistema de riego por aspersión es del 75%.

**Tabla 19.** Diseño Agronómico riego Aspersión

Datos Generales Cultivo		
<b>Cultivo</b>	Pasto	
<b>Localidad</b>	Chaguarpamba	
<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Eto	5.01	mm/día
Kc	1	
Etc	5.01	mm/día
Datos Suelo		
<b>Textura</b>	Franco	
<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
CC	27	% Vol
PMP	13	% Vol

Prof_efec_Raíz	30	cm
Pedregosidad	0	%
HA	42	mm
Criterio de riego	40	%
AFA	16.8	mm
Frecuencia Riego	3.4	días
Frecuencia Riego	3.0	días
Lamina a reponer	15.03	mm
Eficiencia de aplicación	75	%
Lamina Bruta	20.04	mm
Campo	0.5	ha
Área mínima/día	0.17	ha
Tasa de aplicación	3.1	mm/h
Tiempo R	6.45	Hr
<b>Características del aspersor.</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Modelo Aspersor	HS-1 boquilla 9(9/64")	mm
Caudal Aspersor (Q)	698.54	L/hr
Presión de trabajo Asp.	22	mca
Radio Humedecimiento	11	m
Traslape		
Menor 1.4 x R Entre Asp.	15.4	m
Menor 1.4x R Entre late	15.4	m
Marcos Instala	18x18	
	18x21	
	18x22	
	15x15	
	15x12	
	12X12	
Tasa Aplicación	3.1	mm/hr
Tiempo de riego disponible al día	16	hr
Posturas	2.48	
	2	Posturas/día

**Fuente:** Elaborado Autor

### 6.2.7 Diseño Hidráulico

Para tener una mejor distribución del agua, para el diseño del sistema de riego por aspersión del cultivo de pasto variedad chilena se dividió en una zona pequeña con un área neta de 0.56 ha; cuenta con 4 laterales o ramales de 75 m de longitud cada una, distribuidas perpendicularmente a la tubería secundaria, cada lateral cuenta con 6 aspersores a una distancia de 15m entre ellos; 4 de ellos trabajan con un radio de humedecimiento de 360 grados y dos aspersores con un radio de humedecimiento de 180 grados. Para el diseño hidráulico se estableció como punto de inicio la distribución de los aspersores en cada uno de los sectores, para ello se consideró mantener la eficiencia del sistema, aspectos como la distribución de la pluviometría del emisor en campo y el efecto del viento. La distancia entre aspersores es de (15x15), quedando cubierta la demanda hídrica del cultivo de pasto, la cual posee un distanciamiento de 0.4 m entre plantas y 0.6 m entre líneas.

#### Datos del emisor

Como se observa en las Figura 19, según el catálogo de Plastigama, el aspersor que mejor se ajustó a las necesidades del diseño agronómico fue el modelo 2014 HS - 1 - 3/4" M; Boq # 9 (9/64") Gris la cual trabaja a una presión de 21.67 mca (metros de columna de agua), caudal de 0,19 l/s y un alcance de 22.89 m, como se puede observar las especificaciones técnicas en el Anexo 1.



**Figura 18.** Modelo del aspersor

Fuente: Plastigama

#### Diseño de la tubería lateral y secundaria de riego

La tubería lateral presenta las siguientes características: una longitud de 75 m, un diámetro nominal de 20 mm, un caudal de 3.8 l/s, una velocidad media de flujo de  $0.50 \text{ ms}^{-1}$ , una pérdida de carga por fricción de 12.37 m, mientras que la tubería secundaria tiene una longitud de 221 m, un diámetro nominal de 50 mm, un caudal de 15.2 l/s, una velocidad media de flujo de  $0.17 \text{ ms}^{-1}$ , una pérdida de carga por fricción de 1.28 m. Estos valores se los puede observar en la Tabla 19.

**Tabla 20.** Diseño de las tuberías principal, secundaria y laterales de riego

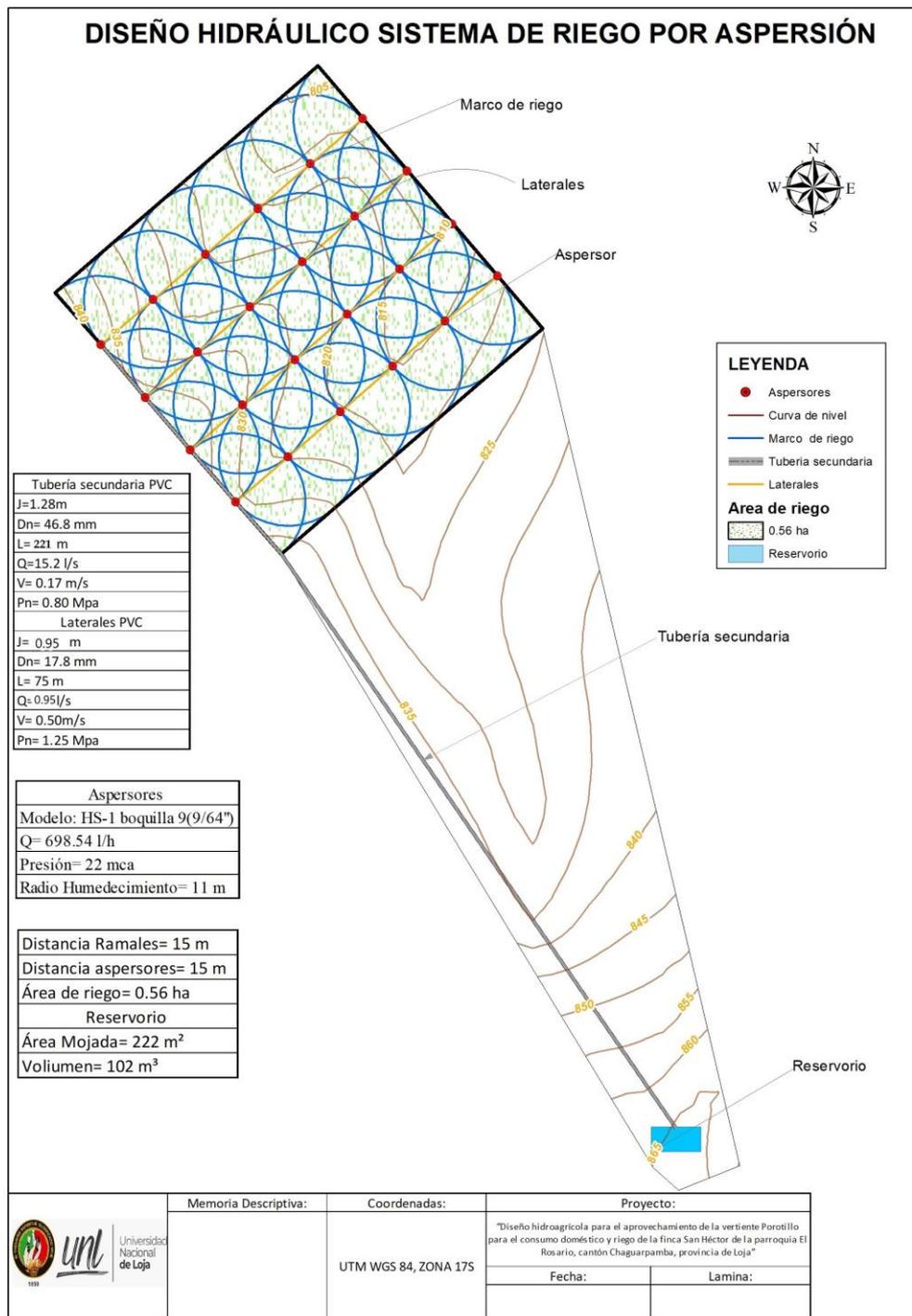
<b>Parámetros</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Área de la unidad de riego	A	ha	0.56
Presión del emisor	PN	mca	21.12
Caudal del emisor	Qe	l/s	0.19
Diámetro	D	m	22.89
<b>Laterales de riego</b>			
Longitud	L	m	75
Diámetro nominal	DN	mm	20
Caudal	Q	l/s	3.80
Pérdida de carga	J	m	12.37
Velocidad del agua	V	ms-1	0.5
Numero de laterales	NL	U	4
Separación entre laterales	SL	m	15
<b>Tubería secundaria de riego</b>			
Longitud	L	m	221
Diámetro nominal	DN	mm	50
Caudal	Q	l/s	15.2
Pérdida de carga	J	m	1.28
Velocidad del agua	V	ms-1	0.17
<b>Tubería principal</b>			
Longitud	L	m	718
Caudal	Q	l/s	3.5
Pérdida de carga	hf	m	19.93
Velocidad del agua	V	m/s	1.29

**Fuente:** Elaborado Autor

### **Diseño de la tubería principal**

El diseño de la tubería principal con material de PVC tiene una longitud de 718 m, un diámetro nominal de 63 mm, con un diámetro interno de 58.8 mm; presión nominal de 1.00 MPa, por donde fluye un caudal de 3.5 l/s, con pérdidas de carga de 19.93 m y una velocidad del agua de 1.29 m/s, que se encuentra dentro del rango exigente de diseño.

En la figura 20 se puede apreciar el esquema del diseño hidráulico del sistema de riego por aspersión con todas las especificaciones técnicas.



**Figura 19.** Esquema diseño hidráulico riego por aspersión  
**Fuente:** Elaborado Autor

## 7. Discusión

Para la presente investigación con lo que respecta a la caracterización morfométrica de la microcuenca Porotillo, se demuestra que la microcuenca tiene un área de 0.16 km<sup>2</sup> considerando los parámetros geomorfológicos y de acuerdo al área superficial de la cuenca se la puede agrupar o clasificar como microcuenca, al tener una superficie muy pequeña, en un rango menor de 25 km<sup>2</sup>. El estudio realizado por Zhicay Lombaida. (2020), su cuenca presenta un área de 80.98 Km<sup>2</sup> que al compararla con nuestra área que es mucho menor, de acuerdo a la clasificación de las cuencas en base al área establecida por Reyes et al. (2007) se considera también a esa unidad hidrográfica como una microcuenca.

De acuerdo con Cáez Martínez. (2021), el área de una cuenca tiene gran importancia por constituir el criterio de la magnitud del caudal, ya que, en condiciones normales los caudales crecen a medida que crece dicha área. Se puede comparar con otros estudios como es el caso de Montoya et al. (2009) sobre la Caracterización morfométrica en la cuenca de los Andes, El Carmen de Viboral, Antioquia-Colombia; donde caracterizan así mismo una microcuenca donde presenta un área pequeña con asimetría leve, pero corre el mayor riesgo de crecidas. Mientras que para Del Águila et al. (2021) en su estudio sobre la caracterización morfométrica de dos cuencas altoandinas del Perú, utilizando sistemas de información geográfica; clasifican como microcuencas las áreas pequeñas en la cual determinaron tiempos de concentración cortos, con una escorrentía superficial en toda el área; es decir, en presencia de una tormenta de extensión considerable, toda la cuenca se activa y aporta agua, alcanzando el gasto de equilibrio.

De acuerdo a Araque et al. (2019), otro parámetro de clasificación es por el sitio de desembocadura; dependiendo si el río o cuerpo hídrico de la principal unidad hidrográfica desemboca en el océano o en un lago o laguna, en nuestro caso de estudio se la clasifica como cuenca exorreica ya que cuyo punto de salida de las aguas superficiales es un río principal que desemboca en el océano.

La microcuenca Porotillo según la pendiente media elevada se la clasifica como muy empinada; haciendo alusión a la forma que presenta este tipo de terreno pedregoso. Resultados similares obtenidos por Muñoz (2013), en su estudio hidrológico realizado en cuatro microcuencas en la ciudad de Loja: Malacatos, La Amanda, Mónica, Santa Urcu; poseen pendientes medias elevadas que superan el 45% considerándolas como pronunciadas, por tal motivo presentan una alta velocidad de escurrimiento y por ende baja capacidad de infiltración

y retención en la mayor parte de su superficie. Mientras Zhicay Lombaida (2020), en su estudio en cuencas con similares características, menciona que este efecto expresa que a una mayor pendiente corresponde una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al curso principal en esta microcuenca, evidentemente favoreciendo a la escorrentía superficial.

Por otra parte, Verdugo (2017), menciona que, si se tiene una mayor pendiente ayuda a la escorrentía superficial, aumentando la cantidad de agua en las vertientes, lo que puede evidenciarse una menor proporción de infiltración, disminuyendo a las aguas subterráneas y a los acuíferos. Mientras que para Cruz et al. (2015), entre más pronunciada sea la pendiente, menor será la duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al curso principal. Concordando con Méndez et al. (2006), en su estudio menciona el fuerte contraste de pendiente entre sus segmentos, son indicadores de la alta probabilidad de esta quebrada a experimentar crecidas con hidrogramas de caudales picos elevados y de corta duración, altas velocidades medias del flujo, mayor capacidad de transporte de materiales y menores tiempos de concentración.

El coeficiente de compacidad o Gravelius calculado fue de 1.41; está entre el rango de 1.25 a 1.50 que según la clasificación se trata de una forma oval-largada a alargada, lo cual posee una representación más alargada en proporción a su ancho, por lo tanto, la mayor cantidad de agua fluye a una solo vertiente; comparando con otros estudios realizados por (Montoya et al., 2009) donde el coeficiente de compacidad, presentó un valor de 1,3, el cual la clasifica como oval redonda a oval oblonga; esto indica que el tiempo de concentración es mayor, por lo cual esta característica está asociada al índice de alargamiento, lo que señala el predominio de tributarios elementales. Mientras que para Gasparari et al. (2012) en su estudio sobre la caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires Argentina, establece que la cuenca presenta una forma oval-oblonga a rectangular oblonga, que presupone que es poco susceptible a las crecidas, cuyas aguas escurren en general por un solo curso principal.

Según el perfil longitudinal de la quebrada, se puede clasificar como tipo embudo, es decir, es un sistema que concentra las aguas de escorrentía en una red densa muy ramificada. Posee unas vertientes empinadas, con pendientes fuertes, poco alargadas, predominan los materiales rocosos en su composición, por lo que se puede clasificar el tipo de sistema de drenaje como subdendrítico. El estudio que establece Zhicay Lombaida. (2020) indica que su microcuenca tiene una forma alargada al tener un coeficiente de gravelius de 1.75; y es

considerada por Cerignoni y Rodríguez (2015), como una cuenca con mayor tendencia a la conservación del medio ambiente. Otras investigaciones realizadas por Verdugo (2017), en su estudio demuestran que el coeficiente de compacidad está entre el rango de (1-1.25) por lo cual frente a una lluvia alta las microcuencas tienen una mayor tendencia a una inundación. Por esta razón las microcuencas tienen la tendencia de ser una zona no protegida frente a una fuerte precipitación.

Con los datos de precipitaciones medias mensuales de las diferentes estaciones cercanas al área de estudio con la ayuda de los sistemas de información geográfica, se generaron el mapa de isoyetas en el área de estudio, donde se observó que las mayores precipitaciones ocurren en el mes de febrero con un valor de 277.20 mm, mientras que las menores precipitaciones se registran en el mes de agosto con un valor de 0,85 mm; comparando los resultados con los demás meses del año se puede evidenciar una época marcada en las estaciones, la época de invierno o lluviosa ocurre en los meses de Diciembre- Abril; y la época seca o verano para los meses de Mayo- Noviembre. De acuerdo al estudio realizado por Cuenca (2015), en donde analiza la disponibilidad hídrica de la cuenca del Río Catamayo, la precipitación de la cuenca muestra un ciclo dinámico, de acuerdo a las anomalías extraídas de la serie de tiempo en su comportamiento general indica la existencia de fenómenos lluviosos u periodos secos; en base al análisis espacial – temporal de la cuenca permite observar la estacionalidad de la precipitación, tal es el caso que en las épocas de invierno y verano están bien definidas marcando las mayores precipitaciones en los primeros cuatro meses del año, lo contrario ocurre en el periodo seco que marca el final del periodo lluvioso, que inicia a partir de Mayo. Durante esa temporada, agosto resulta ser el mes más seco. Con estos resultados se puede constatar que a nivel general la cuenca Catamayo presenta las mismas condiciones espacio-temporales en relación a las épocas marcadas de invierno y verano, mediante el estudio realizado en relación a las precipitaciones medias mensuales generadas en la microcuenca porotillo.

El caudal máximo obtenido a través del método racional que hace relación al coeficiente de escorrentía medio ponderado de la microcuenca, para un periodo de retorno de 50 años es de 2.95 m<sup>3</sup>/s; dicho caudal se lo puede comparar con el caudal obtenido mediante los aforos volumétricos realizados en un periodo de 10 meses desde octubre 2021-julio 2022, obteniendo un valor promedio de 3.55 l/s; cabe mencionar que estos aforos que se realizaron en la zona de estudio son valores referenciales tomados para poder comparar con la metodología descrita anteriormente. Este tipo de metodologías son empleadas en otras

investigaciones como es el caso de Pérez (2015) en su estudio para determinar el caudal de creciente en el caño pavas en la vereda del municipio de puerto Boyacá obteniendo un valor promedio de 242,33 m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno de 50 años, para lo cual el caudal de creciente está directamente relacionado con la frecuencia de su aparición, que se puede definir por su periodo de retorno, ya que cuanto mayor sea este, mayor será el caudal.

La meta planteada fue diseñar una infraestructura hidráulica para el correcto aprovechamiento y así de alguna manera captar el agua de esta vertiente y poder derivarla para la implementación de sistemas de agua para uso doméstico y riego de la finca San Héctor; para este proyecto se consideró una bocatoma tipo rejilla de fondo. El agua se capta a través de una rejilla colocada en la parte superior de una presa, que a su vez se dirige en sentido normal de la corriente. El ancho de esta presa puede ser igual o menor que el ancho del río (Zarate y Macas, 2019). No obstante, el caudal a captar mediante el estudio hidrológico y métodos de aforos volumétricos se corrobora con la solicitud de concesión del derecho de aprovechamiento del agua de la vertiente Porotillo de la Demarcación Hidrográfica Puyango-Catamayo. Podemos citar otras investigaciones donde se busca implementar este tipo de infraestructuras hidráulicas como es el caso de (Herrera, 2020), en su estudio “Diseño de bocatoma y línea de conducción para garantizar el caudal del sistema de acueducto de la cabecera municipal de la mesa, Cundinamarca”, el caudal de diseño fue de 0.1326 m<sup>3</sup>/s, con una velocidad del río de 0.608 m<sup>3</sup>/s, una longitud de rejilla de 0.50 m, 10 orificios separados entre sí 2.0 cm. De acuerdo a Castro (2021), la importancia de las bocatomas tipo rejilla de fondo radica en retener los sedimentos, evitan que estos ingresen a los sistemas de conducción de agua, lo que podría obstruir las tuberías o causar daños en los equipos de bombeo y captar el agua desde el fondo, con el fin de aprovechar de manera eficiente la calidad y temperatura del agua, ya que en esa zona suelen encontrarse las capas más limpias y frescas.

En el presente estudio con respecto a las necesidades hídricas del cultivo de pasto variedad chilena en relación a la Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>), la mayor ET<sub>o</sub> se presenta en el mes de septiembre con un valor promedio de 11.50 mm/día, mientras que la menor ET<sub>o</sub> se registra en el mes de abril con un valor promedio de 3.65 mm/día; estos resultados los podemos comparar con otras investigaciones realizadas como es el caso de Guerra et al. (2021) en su estudio sobre las necesidades hídricas del cultivo de pasto estrella en Guantánamo cuba, donde el mayor valor de ET<sub>o</sub> se registra en el mes de abril con un valor promedio de 6.10 mm/día, mientras que la menor ET<sub>o</sub> se registra en el mes de diciembre con

un valor promedio de 4.4 mm/día; esto se debe al lugar donde se realiza el estudio y a los diferentes factores climáticos .

En cuanto a la ETc, en el cultivo de pasto variedad chilena se obtuvo como promedio una evapotranspiración del cultivo de 4.74 mm/día, mientras que el estudio realizado por Guerra et al. (2021) obtiene una ETc de 4.23 mm/día; comprando estos resultados se obtienen valores similares. Otras investigaciones como es el caso de Álvarez (2019), en un estudio de la variación de los períodos de crecimiento para tres pastos tropicales, bajo los efectos del cambio climático, obtuvo para el Pasto Estrella valores de ETc de 3,56 mm/día, valor inferior al alcanzado en el presente trabajo, lo que se les atribuye a las condiciones climáticas adversas presentes en nuestra zona de estudio (altas tasas de evaporación y baja pluviometría).

Para el diseño hidráulico del sistema de riego por aspersión se trabajó con base a la tubería más crítica, la cual posee una longitud de 75 m para la lateral, en cuanto a la tubería secundaria tiene una longitud de 221 m, mientras que la tubería principal tiene una longitud de 718 m. El material utilizado tanto para la tubería principal, secundaria y laterales es de PVC. En base al estudio realizado por López (2013) recomienda trabajar con este tipo de material como es el PVC, ya que es un material resistente, y el tiempo de duración de este material sometido a las diferentes condiciones ambientales puede durar varios años en comparación con tuberías de otro material, por tal motivo al trabajar con PVC en la construcción de diferentes sistemas de riego es de vital importancia ya que presentan una mejor resistencia a elevadas presiones, etc.

Los valores de velocidades del fluido en el diseño del sistema de riego por aspersión fueron las siguientes: para la tubería principal  $1.29 \text{ m s}^{-1}$ , en la tubería secundaria de  $0.17 \text{ m s}^{-1}$  y en la lateral de  $0.50 \text{ m s}^{-1}$ , estos valores coinciden con los sugeridos por Monge, citado por Moreno (2023), quien en su estudio manifiesta que la velocidad media de flujo tanto en las tuberías principales como secundarias debe ir de  $0.5$  a  $2.5 \text{ m s}^{-1}$ , mientras que para las laterales debe estar en un rango de  $0,5$  a  $2,0 \text{ m s}^{-1}$ , esto es de vital importancia para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. Según el INEH, citado por Picoita (2021), las velocidades superiores a los  $2,5 \text{ m/s}$  dan lugar a una serie de inconvenientes como es el arrastre, ruidos y fenómenos abrasivos en las paredes interiores de la tubería que afectarían a la durabilidad de la misma; en tanto que, velocidades inferiores a  $0,5 \text{ m/s}$  pueden ocasionar problemas de sedimentación de partículas y residuos debida a la escasa movilidad del movimiento del agua.

El reservorio tipo tronco de pirámide se diseñó con base al caudal que presentó el aforo en el sitio de estudio con  $3.5 \text{ l s}^{-1}$ , las medidas que presenta son: 10 m de largo por 10 m de ancho en la parte superior, mientras que en el fondo presenta las siguientes medidas: 8 m de largo por 8 m de ancho, obteniendo un volumen de agua del reservorio de  $102 \text{ m}^3$  y con un área mojada de  $222 \text{ m}^2$ , un talud de 0,67 y una altura máxima de agua de 1,50 m. El estudio realizado por Cruz (2018), manifiesta que para el diseño de un reservorio es importante determinar la geometría, caudal de diseño, capacidad, dimensionamiento, tipo y ubicación, para luego iniciar el diseño estructural de dicho reservorio. Mientras que Yazòn (2018) en su trabajo de prácticas, indica que es importante realizar un análisis adecuado del talud, teniendo en cuenta todos los parámetros del suelo, pendiente talud y el correspondiente coeficiente sísmico; ya que, si no se analiza correctamente puede derrumbarse el suelo y dejar paso libre al agua del reservorio inundando las zonas cercanas, pudiendo producir pérdidas económicas. De acuerdo a Fernández et al. (2013), una ventaja de estos tipos de reservorios es que se adaptan perfectamente al entorno y protegen de las variaciones de temperatura al agua.

## 8. Conclusiones

En conclusión, la caracterización morfométrica permitió comprender y gestionar la microcuenca hidrográfica de manera sostenible, permitiendo una mejor planificación y toma de decisiones en campos como la ingeniería hidráulica, la gestión de recursos hídricos y la conservación ambiental. El método de las isoyetas permitió establecer cuanta lluvia precipita en esa zona de estudio. De acuerdo a la distribución temporal de la precipitación media mensual se observa dos picos máximos en el mes de febrero y marzo, mientras que en los registros de precipitación para los meses de julio y agosto son mínimos, determinando que el área de estudio corresponde a un régimen Bimodal, con dos épocas de las estaciones bien marcadas del año.

El diseño de la bocatoma tipo rejilla de fondo fue una solución efectiva para captar agua procedente de la vertiente porotillo, con esto se minimizó el impacto ambiental ya que no altera significativamente el cauce del río y permite el paso de peces y otros organismos acuáticos. Se maximizó la eficiencia hidráulica; permitiendo una captación de agua más eficiente, ya que el agua fluye hacia la bocatoma por gravedad, reduciendo la necesidad de bombeo y energía. Por consiguiente, este tipo de bocatoma se puede adaptar a diferentes condiciones hidrológicas y geomorfológicas, lo que la hace adecuada para una variedad de aplicaciones, requiriendo un mantenimiento relativamente bajo en comparación con otros tipos de bocatomas, ya que el agua fluye libremente y no se acumula sedimento, garantizando el caudal ecológico de acuerdo a las normativas que exige la ley de ambiente.

El diseño de sistema de riego por aspersión permitió dotar de agua al cultivo de pasto en los meses de más demanda hídrica (septiembre), con un intervalo de riego de 3 días con 8 horas de riego por día. Para tener un caudal disponible durante las 24 horas, se consideró el diseño de un reservorio tipo tronco de pirámide para poder almacenar el agua necesaria que permita regar el cultivo hasta sus condiciones óptimas. Se realizó con el motivo de aprovechamiento de este recurso en épocas de estiaje donde no se cuenta con el recurso necesario tanto para actividades agrícolas como para el consumo humano.

## **9. Recomendaciones**

Se recomienda la aplicación de diferentes metodologías para el análisis y cálculo de los parámetros morfométricos de la microcuenca en estudio, esto es con el fin de obtener datos más exactos, realizando una verificación o comprobación en cuanto a los parámetros morfométricos obtenidos dentro del área de estudio.

Para el diseño de una bocatoma tipo rejilla de fondo se recomienda realizar un estudio hidrológico más completo detallado del cauce del río, incluyendo la hidrología, la geomorfología y la sedimentología, para determinar las condiciones de diseño adecuadas, en el que se detallen la situación y emplazamiento de la obra, la cartografía y topografía del terreno, el estudio geológico y edafológico, un estudio climático, la pluviometría de la zona, el cálculo de caudales y la explicación del estado actual de la zona. Considerar los posibles impactos ambientales y diseñar la bocatoma para minimizarlos, como la inclusión de pasos de peces o la protección de hábitats acuáticos.

Luego de la implementación de obras hidráulicas es conveniente realizar estudios de diseños de riego localizados y presurizados para mejorar el uso y la aplicación de agua de regadío. Estableciendo aforos directos, aplicando otras metodologías para contar con registros o series de datos de caudal, importantes para estimar los valores máximos, mínimos y promedios que permitan comprender el comportamiento hidrológico en diferentes épocas del año

Proporcionar la implementación de una estación meteorológica convencional en el área de la microcuenca, con el fin de llevar a cabo registros de diferentes variables climáticas, para tener un mejor punto de vista en cuanto a la planificación y manejo sustentable del recurso hídrico, debido a la significación que tiene esta área de estudio ya que este tipo de vertientes representan una fuente generadora de agua para la población.

## 10. Bibliografía

- Aguirre, N. (2007). Manual para el manejo. Universidad Nacional de Loja, Agosto, 117. [https://agrequima.com.gt/site/wp-content/uploads/2016/12/Manual\\_de\\_Instructores-01.pdf](https://agrequima.com.gt/site/wp-content/uploads/2016/12/Manual_de_Instructores-01.pdf)
- Alegret Breña, E., & Martínez Valdés, Y. (2019). Coeficiente de Hazen-Williams en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(3), 41-55.
- Álvarez Adán, A. (2019). Variación de los periodos de crecimiento para tres pastos tropicales, bajo los efectos del cambio climático. *Pastos y forrajes*, 42(2), 104-113.
- Ambuludi, P. (2016). Determinación del nivel del caudal de agua y alternativas de Conservación de la micro cuenca “quebrada los monos” afluente del río santa rosa. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/4905/1/CD00042-2016-TEISIS%20COMPLETA.pdf>
- Araque Arellano, M., Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., y Ortiz, L. (2019). *Cuencas Hidrográficas*.
- Avidan, A. (1994), Cálculo de las necesidades de riego: Determinación del régimen de riego de los cultivos; factores que influyen sobre el régimen de riego y la evapotranspiración de los cultivos, fascículos 1-3, Cinadco, Israel, Departamento de Riego y Suelos/Ministerio de Agricultura, Servicio de Extensión Agrícola Ballesteros, R. H. (2007). Manejo integral y aprovechamiento de los recursos hídricos. *Biocenosis*, 20(1-2).
- Banchón Chonillo, J. (2021). Diseño de un sistema de riego por aspersión en cultivo de banano para la “finca el garrido” ubicada en Calichana, Cantón Pasaje, Provincia Del Oro. In Universidad Estatal Península De Santa Elena. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6363>
- Becerra Zapata, Y. L., y Villegas Vergara, J. (2019). Plan de manejo ambiental del complejo de humedales de la hacienda Cataluña: una propuesta ecoturística. <https://hdl.handle.net/11059/11102>
- Béjar, M. V. (2004). *Hidrología Estadística* (Issue 1).
- Cabrera, j. m. a. n. k. a. c. (2018). Universidad Del Azuay Facultad De Ciencia Y Tecnología.
- Cáez Martínez, J. (2021). Caracterización morfométrica y merística de diferentes especies piscícolas nativas continentales de Ecuador.
- Cajamarca, U. N. D. E., Académico, e., y ingeniería, p. d. e. (2014). inventario de infraestructura hidráulica mediante herramientas de geo posicionamiento en la cuenca hídrica ma-01 del sur de manabí. 1–118. [http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3006/1/tesis final guerra pincaj rusbel jose.pdf](http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3006/1/tesis%20final%20guerra%20pincaj%20rusbel%20jose.pdf)
- Cando, D. (2022). Diseño del reservorio y el sistema de líneas de distribución, para el riego parcelario en la comunidad unión y trabajo perteneciente a la parroquia Mulalillo del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi. [Universidad Técnica de Ambato]. [file:///C:/Users/Marco/documents/tesis%20reservorio%20cando%20pilatas ig%20douglas%20arturo.pdf](file:///C:/Users/Marco/documents/tesis%20reservorio%20cando%20pilatas%20ig%20douglas%20arturo.pdf)
- Castro, C.,(2021). Propuesta de metodología para selección del tipo de bocatoma (lateral y de fondo)

mediante el análisis de casos de estudios.  
<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/c6c74f78-8c46-435d-b49c-45d9dfb8ad3b/content>

- Cerignoni, F. J., & Rodrigues, V. A. (2015). Análisis morfométrico de la microcuenca “C” núcleo Cunha, São Paulo, Brasil. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, (41), 355-366.
- Chalán, Á. A. L. (2017). planeación de los recursos hídricos con fines de riego, en el sistema La Era, utilizando los sistemas de información geográfica (SIG). In *Jurnal Penelitian Pendidikan Guru Sekolah Dasar* (Vol. 6, Issue August).
- Chango Vinuesa, M. X. (2013). Las acciones para la concesión del agua y su adhesión en la legislación Ecuatoriana (Bachelor's thesis).
- Cruz Romero, B., Gaspari, FJ, Rodríguez Vagaría, AM, Carrillo González, FM, y Téllez López, J. (2015). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia*, 23 (64), 26-34.
- Cruz, C. (2018). Diseño de un reservorio apoyado de concreto armado mediante los métodos de elementos finitos y Portland Cement Association, provincia de Huaral. [Universidad Cesar Vallejo]. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/45858/Cruz\\_RCSD.pdf?sequence=8](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/45858/Cruz_RCSD.pdf?sequence=8)
- Cuenca. (2015). Análisis de la disponibilidad hídrica de la cuenca del Río Catamayo, hasta la estación en Pte. Vicin, con fines de aprovechamiento y conservación. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/12358>
- CVC, y Consorcio POMCA Quindío. (2017). Capítulo 7 Morfometría. Caracterización De La Cuenca, 7, 32. [https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes\\_y\\_Programas/Planes\\_de\\_Ordenacion\\_y\\_Manajeo\\_de\\_Cuencas\\_Hidrografica/La\\_Vieja\\_-\\_POMCA\\_en\\_Ajuste/Fase\\_Diagnostico/7\\_CapituloI\\_Diagnostico\\_Morfometria.pdf](https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Ordenacion_y_Manajeo_de_Cuencas_Hidrografica/La_Vieja_-_POMCA_en_Ajuste/Fase_Diagnostico/7_CapituloI_Diagnostico_Morfometria.pdf)
- Del Aguila, S., y Mejía, A. (2021). Caracterización morfométrica de dos cuencas altoandinas del Perú utilizando sistemas de información geográfica. *Tecnología y ciencias del agua*, 12(2), 538-562.
- Delgado, G. (2012). Determinación de la lámina de riego para el cultivo de la Albahaca Genovesa (*Ocimum basilicum* “Genovese”) a partir de la variación del coeficiente multiplicador de la evaporación. <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/9017/1/CB-0478859.pdf>
- Ecuador Estrategico EP. (2018). Memoria de cálculo del sistema de agua potable. [https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/bajarArchivo.cpe?Archivo=LDltMWNH\\_ynJaeWxz\\_aLvVQ0HLYqPLuvEhLHqPAsWU,#:~:text=Se define como caudal máximo,final del período de diseño.&text=Según Norma CO 10.7-601,%2C3-1%2C5.&text](https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/bajarArchivo.cpe?Archivo=LDltMWNH_ynJaeWxz_aLvVQ0HLYqPLuvEhLHqPAsWU,#:~:text=Se define como caudal máximo,final del período de diseño.&text=Según Norma CO 10.7-601,%2C3-1%2C5.&text)
- Eoarth, (2012). El Ciclo Hidrológico. Obtenido de: [www.eoearth.org/article/Hydrologic\\_cycle](http://www.eoearth.org/article/Hydrologic_cycle)
- Erazo, W., y Ortiz, E., (2014). Determinación de Caudales en cuencas con poca información Hidrológica. *Ciencia Unemi*, 7(12), 100-110.

- FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo. <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>
- FAO 46. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego. <https://www.fao.org/3/at787s/at787s.pdf>
- FAO 56. (2006). Evapotranspiración del cultivo (p. 322). <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- FAO. (2007). Guía metodológica para el manejo participativo de microcuencas. Guía, 8. [https://coin.fao.org/coinstatic/cms/media/3/12647138247290/guia\\_manejo\\_microcuencas.pdf](https://coin.fao.org/coinstatic/cms/media/3/12647138247290/guia_manejo_microcuencas.pdf)
- Faustino, J., y Jiménez Otárola, F. (2000). Manejo de cuencas hidrográficas. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8431>
- Fernandez Reynoso, D., Zamora Cruz, E., Barajas López, J., & Martínez Menes, M. (2013). Tanques de almacenamiento en concreto y mampostería. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Fernández, R., Milla, M., Ávila, R., Berengena, J., Gavilán, P., & Oyonarte, N. (2010). Manual de riego para agricultores Módulo 2. Junta de Andalucía, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160940Riego\\_por\\_superficie\\_baja.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160940Riego_por_superficie_baja.pdf)
- GAD El Rosario. (2015). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Parroquia el Rosario. [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/1160034570001\\_PDOT\\_GAD\\_EL\\_ROSARIO\\_2015\\_-\\_2020\\_24-06-2016\\_18-19-34.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1160034570001_PDOT_GAD_EL_ROSARIO_2015_-_2020_24-06-2016_18-19-34.pdf)
- Gaspari FJ, Senisterra GE, Delgado MI, Rodríguez Vagaría A y Besteiro S. 2009. Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. Editorial Autores, 1, La Plata, Argentina: 321p.
- Gaspari FJ. 2002. Plan de ordenamiento territorial en cuencas serranas degradadas. Aplicación de sistemas de información geográfica. Huelva. España. Ediciones Cooperativas, Buenos Aires: 179 p
- Gaspari, F. J., Vagaría, A. M. R., Senisterra, G. E., Denegri, G. A., Delgado, M. I., y Besteiro, S. I. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. Augm Domus, 4, 143-158.
- Gómez, J. (2017). Diseño de la captación de una rejilla lateral. Machala: Universidad Técnica de Machala. [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/11068/1/TUAIC\\_2017\\_IC\\_CD0023.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/11068/1/TUAIC_2017_IC_CD0023.pdf)
- González, M. A. 2004. Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. Boletín de la A.G.E. No. 38. 311-329 p.
- Guamán Zhingre, M. A. (2021). Diseño de un sistema de riego por aspersión en el cultivo de maíz (zea mays) en el predio agrícola “El Almendro” del barrio la vega, parroquia y cantón Catamayo, provincia de Loja <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/23904> [BachelorThesis, Loja].
- Guayanay, J. F. M. (2013). Estudio hidrológico correspondiente a las microcuencas del río malacatos y las quebradas amanda, mónica y santa urcu para el abastecimiento de agua potable en la ciudad de loja (issue 1).

- Guerra, F., y Gonzáles, J. (2002). Caracterización Morfométrica de la cuenca de la quebrada La Bermeja, San Cristóbal, Estado Tachira, Venezuela. *Geoenseñanza*, (1316–6077).
- Guerra, O. O., & Alberti, I. H. (2021). Necesidades hídricas del Pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*) en Guantánamo, Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(1), 15-20.
- Guerrero Yépez, P. A., & Llamatumbi Paillacho, R. J. (2020). Diseño de la Captación de Agua para la Junta de Regantes del Barrio Salazar Gómez en la Quebrada la Retraída (Bachelor's thesis, Quito, 2020.).
- Gutiérrez, R. D. G., López, J. L. O., Villa, Ó. R. M., y García, Ó. A. B. (2019). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México. *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (24), 9.
- Henaos JE. 1988. Introducción al manejo de cuencas hidrográficas. Universidad Santo Tomás, Centro de enseñanza desescolarizada, Bogotá, Colombia: 396 p
- Herrera Martínez, D. (2020). Diseño De Bocatoma Y Línea De Conducción Para Garantizar El Caudal Del Sistema De Acueducto De La Cabecera Municipal De La Mesa, Cundinamarca. 1–166.
- Hidalgo Tamayo, L. A. (2017). Guía práctica para aforar canales y cauces naturales, utilizando instrumentación básica y de bajo costo (Bachelor's thesis, Quito, 2017). <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18851>.
- Horton, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol. Soc. America Bull.* 56: 275-280.
- Llamas, J. 1993. Hidrología General, Principios y Aplicaciones. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. Bilbao, España. 402 p.
- López Cadenas de Llano F y Mintegui Aguirre JA. 1987. Hidrología de superficie. Editorial Salazar. Escuela de Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid, España: 222 p
- López Cadenas de Llano F. 1998. Restauración Hidrológica Forestal de cuencas y Control de la Erosión. Ingeniería Medioambiental, TRAGSATEC, Ministerio de Medio Ambiente. Editorial Mundi Prensa, Madrid, España: 945 p.
- López, D. (2013). Análisis térmico en el cabezal de la máquina de extrusión de PVC Rígido y su efecto en las propiedades mecánicas de probetas normalizada de tubería de desagüe 110mm según norma NTE en la empresa Tumilsa S.A. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/5991/1/Tesis%20I.%20M.%20174%20-%20L%C3%B3pez%20Paucar%20Diego%20Fabi%C3%A1n.pdf>
- López, R. (1995). Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1892>
- Méndez, W., & Marcucci, E. (2006). Análisis morfométrico de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 47(1), 29-55.
- Minagri. 2015. Medición de agua. Manual N°5, Lima, Perú. 14 p.
- Moll Barber, M. (2013). Aplicaciones cartográficas para la valoración de superficies de escorrentía. *Riu Girona (Alicante). Investigaciones Geográficas*, 60, 101.

<https://doi.org/10.14198/ingeo2013.60.06>

- Montoya Moreno, Y., y Montoya Moreno, B. (2009). Caracterización morfométrica de la microcuenca de la quebrada los Andes, El Carmen de Viboral, Antioquia-Colombia. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 31-38.
- More Huertas, M. J. H., & Olazabal Culcas, C. A. (2021). Diseño hidráulico de la red de agua potable en el Caserío Chamelico–San Miguel del Faique–Huancabamba–Piura, 2021.
- Moreno, J. (2023). Diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de café (*Coffea arabica*) en el barrio Guarango, parroquia Santa Teresita, cantón Espíndola, provincia de Loja. [Nacional de Loja]. file:///C:/Users/Marco/Downloads/GUION DIAPOSITIVAS-JM/Tesis-Riego%20Goteo%20Jandry-Moreno.pdf
- Morisawa ME. 1985. Rivers: forms and process. Longman, London, England: 222 p
- Muñoz, F. (2007). Manejo de cuencas hidrográficas tropicales. 206. Oriente, I. de C. (2019). Sistemas De Riego Tecnificado. In *Revista técnica Agropecuaria* 8. [https://ico-bo.org/wp-content/uploads/2019/09/Cartilla\\_Riego\\_Tecnificado\\_GAP\\_web.pdf](https://ico-bo.org/wp-content/uploads/2019/09/Cartilla_Riego_Tecnificado_GAP_web.pdf)
- Muñoz, J. (2013). Estudio hidrológico correspondiente a las microcuencas del río Malacatos y las quebradas Amanda, Monica y Santa Urcu para el abastecimiento de agua potable en la ciudad de Loja.
- Navarrete, M. D. 2004. Propuesta metodológica para el análisis territorial en la cuenca hidrográfica del Estero El Peral, Comuna de Carahue, IX Región. Universidad Católica de Temuco, Chile. Facultad de Ciencias Ambientales. Vol. (6): 133-134 p.
- Núñez, M. A. (2011). La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *Revista Virtual*, 5(1), 1.
- OEA. (2000). Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Loja.
- Olazabal Arrabal, M. A., Rodríguez Méndez, V., & González Fontes, R. (2021). La identidad cultural como recurso local y su integración a la gestión del desarrollo territorial. *Retos de la Dirección*, 15(1), 27-60.
- Oriente, I. de C. (2019). Sistemas De Riego Tecnificado. In *Revista técnica Agropecuaria* 8. [https://ico-bo.org/wp-content/uploads/2019/09/Cartilla\\_Riego\\_Tecnificado\\_GAP\\_web.pdf](https://ico-bo.org/wp-content/uploads/2019/09/Cartilla_Riego_Tecnificado_GAP_web.pdf)
- Patton, P. C. (1988). Drainage basin morphometry and floods. *Flood Geomorphology*. John Wiley & Sons New York. 1988. p 51-64. 11 fig, 1 tab, 67 ref.
- Pereira, L., D Juan Valero, J., Picornell, M., & Tarjuelo, J. (2010). El riego y sus tecnologías. [http://crea.uclm.es/crea/descargas/\\_files/El\\_Riego\\_y\\_sus\\_Tecnologias.pdf?fbclid=IwAR2Gmw5Cu4TfCzHqZdmGmPvvIYH0rGYbCqCXZ1Knf151oj13nxjCQBE5t0w](http://crea.uclm.es/crea/descargas/_files/El_Riego_y_sus_Tecnologias.pdf?fbclid=IwAR2Gmw5Cu4TfCzHqZdmGmPvvIYH0rGYbCqCXZ1Knf151oj13nxjCQBE5t0w)
- Pérez de la Cruz, F. (2011). Captación de aguas superficiales. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena. [https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6010/mod\\_resource/content/1/Tema\\_02\\_CAPT\\_AGUAS\\_SUP.pdf](https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6010/mod_resource/content/1/Tema_02_CAPT_AGUAS_SUP.pdf)
- Pérez López, J. A. (2015). Cálculo del caudal de creciente por el método racional en el Caño Pavas en

- la Vereda de Velásquez en el Municipio de Puerto Boyacá. <http://hdl.handle.net/11349/4956>
- Picoita, D. (2021). Diseño de un sistema de riego por goteo en el cultivo de café (*Coffea arábica* L.) en el centro binacional de formación técnica Zapotepamba-Paltas. [Universidad Nacional de Loja]. [file:///C:/Users/Marco/Downloads/TESIS%20EN%20RIEGO%20GOTEO%20\(PICOITA\)%20ELVIS/Tesis%20Riego%20por%20goteo%20Picoita.pdf](file:///C:/Users/Marco/Downloads/TESIS%20EN%20RIEGO%20GOTEO%20(PICOITA)%20ELVIS/Tesis%20Riego%20por%20goteo%20Picoita.pdf)
- Prevert, C. (1986). en López Cadenas, F. y Mintegui, JA. <https://www.utm.mx/~temas/temas-docs/e0611.pdf>
- Reyes-Gómez, V. M., y Pérez-Márquez, A. (2007). Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua. *Tecnociencia Chihuahua*, 1(3), 21-31.
- Robert, B., y Brown, E. B. (2004). Factores que se deben considerar para seleccionar el sistema de riego más adecuado. 1, 1–14.
- Rodríguez, L. K. P., y Montealegre, H. (2020). Diseño de estrategias de conservación, mejoramiento y aprovechamiento del recurso hídrico en el sector sur de la Cuenca Hidrográfica de Río Seco—Revisión Sistemática. *Journal of business and entrepreneurial studies: JBES*, 4(1), 11.
- Romero, A. (2013). Guía análisis y zonificación de cuencas hidrográficas para el ordenamiento territorial. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/fc859ac9-4c28>
- Senagua. (2016). National Plan for Integrated and Comprehensive Management of Water Resources and basins and Micro-basins of Ecuador. Cispdr, 602. [http://suia.ambiente.gob.ec/?page\\_id=495](http://suia.ambiente.gob.ec/?page_id=495)
- Shumm, S. 1956. The fluvial system. A Wiley-interscience Publication. John Wiley and Sons, Inc. New York. 338 p
- Solanes, M., & Getches, D. (1998). Prácticas recomendables para la elaboración de leyes y regulaciones relacionadas con el recurso hídrico.
- Tipán, D. N. (2018). Estudio hidráulico del río guano para la determinación de la conductancia entre río- acuífero y zonas de inundación. Universidad Nacional de Chimborazo. Retrieved from <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4983>
- Tlaloc v1.0. (2012) Programa para calcular el diseño de sistema de riego presurizado goteo, microaspersión y aspersion
- Tomalá De La Cruz, B. M., y Vera López, A. D. (2021). Escuela superior politécnica del litoral Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra proyecto integrador Previo la obtención del Título de: Ingeniería Civil. 266
- Verdugo Cardenas, M. (2017). “Análisis morfométrico de las microcuencas a las que pertenece el Bosque y Vegetación Protectora Aguarongo (BVPA), influencia en el comportamiento hidrológico.” In Universidad Politécnica Salesiana (Vol. 1, Issue 1). <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14381/1/UPS-CT007051.pdf>
- Villafáfila, E., & Wyss, V. (2009). Riego en Horticultura. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-riego-en-horticultura.pdf>
- Viramontes-Olivas, Ó. A., Escoboza-García, L. F., Álvarez, C. P., Álvarez, A. P., Reyes-Gómez, V.

- M., y Pérez-Márquez, A. (2007). Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua. *Tecnociencia Chihuahua*, 1(3), 21-31.
- Yáñez, L., Franco, P., Bastidas, W., y Córdova, V. (2017). Resumen del plan nacional de gestión integrada e integral de los recursos hídricos y de las cuencas y microcuencas hidrográficas de Ecuador. *Aqua-LAC*, 9(2), 124-132.
- Yazòn, J. (2018). Estabilidad de taludes en reservorios. [https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/10951/yanzon-rauek-pps.pdf](https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/10951/yanzon-rauek-pps.pdf)
- Zarate, I. M. C., & Macas, A. F. M. (2019). ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra Diseño de la captación y línea de conducción del agua potable para Caluma Nuevo , cantón Caluma , provincia de Bolívar Previo la obtención del Título de : Ingeniero c.
- Zhicay Lombaida, J. (2020). Caracterización morfométrica y estudio hidrológico de la microcuenca del río San Francisco, cantón Gualaceo. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca., 120. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18364/1/UPS-CT008684.pdf>

## 11. Anexos

### Anexo 1. Especificaciones Técnicas selección tipo de aspersor

ASPERSORES	PRESIÓN EN LA BOQUILLA (PSI)					
	25	30	35	40	45	50
<b>2014 HS - 1 - 1/2" M</b>						
Boq # 7 ( 7/64" ) Lima						
Caudal (gpm)	1.68	1.84	1.99	2.12	2.25	2.37
Diámetro a 0.50 m	20.14	20.75	21.36	21.97	22.58	22.89
Boq # 9 ( 9/64" ) Gris						
Caudal (gpm)	2.81	3.08	3.33	3.56	3.78	3.98
Diámetro a 0.50 m	21.06	21.67	22.28	22.89	23.50	23.80
<b>3012 - 1 - 3/4" M</b>						
Boq # 9 ( 9/64" ) Gris						
Caudal (gpm)	2.81	3.08	3.33	3.56	3.78	3.98
Diámetro a 0.50 m	21.67	22.89	23.80	24.72	25.63	26.25

### Anexo 2. Datos de precipitación media mensual Estación meteorológica EL PRADO

ESTACION	EL PRADO	LATITUD.	03° 47 S
PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (mm)		LONGITUD.	79 44W
		ALTURA.	870 msnm

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	PROMEDIO
1990	122.6	281.0	93.8	468.9	183.5	10.9	11.5	0.0	0.0	56.9	25.9	112.0	1367.0	210.3
1991	261.5	209.5	505.1	64.4	94.2	15.3	1.3	0.0	1.2	86.3	47.3	164.5	1450.6	223.2
1992	167.8	265.9	400.4	358.4	136.5	8.8	0.0	1.1	48.2	0.5	14.9	133.0	1535.5	236.2
1993	208.0	628.6	656.7	543.8	101.2	3.4	8.6	0.0	4.8	70.4	55.0	268.4	2548.9	392.1
1994	648.7	381.8	396.2	261.6	35.8	0.0	0.0	5.8	4.9	10.1	12.8	104.6	1862.3	286.5
1995	142.6	277.3	276.1	180.9	201.5	3.0	1.1	0.0	3.5	9.0	85.3	73.7	1254.0	192.9
1996	386.4	343.4	478.8	106.6	34.3	35.5	0.0	0.0	0.0	26.8	4.2	90.3	1506.3	231.7
1997	234.5	204.5	317.7	278.7	19.4	93.5	0.0	0.0	17.2	208.5	279.7	476.1	2129.8	327.7
1998	174.4	396.3	486.7	434.6	214.7	2.0	3.1	9.7	0.0	25.8	32.8	57.5	1837.6	282.7
1999	330.2	437.1	240.2	188.6	150.9	28.3	9.2	0.0	43.1	19.0	29.4	263.7	1739.7	267.6
2000	165.9	480.5	523.9	445.8	93.0	51.5	0.0	0.0	26.2	0.0	3.0	47.7	1837.5	282.7
2001	385.5	271.3	557.0	110.8	55.4	9.4	1.3	0.0	0.0	0.0	256.5	131.0	1778.2	273.6
2002	148.8	393.9	449.2	179.8	51.8	7.3	1.0	0.0	3.0	15.3	52.6	426.8	1729.5	266.1
2003	148.4	72.5	123.2	301.0	10.0	0.0	1.5	0.0	0.0	35.0	22.6	144.5	858.7	132.1
2004	245.9	406.4	91.0	216.8	34.6	15.0	0.0	0.0	20.2	15.7	1.0	74.9	1121.5	172.5
2005	110.1	281.3	545.8	87.2	59.6	0.0	0.0	0.0	2.4	38.6	48.2	168.2	1341.4	206.4
SUMA	<b>3881.3</b>	<b>5331.3</b>	<b>6141.8</b>	<b>4227.9</b>	<b>1476.4</b>	<b>283.9</b>	<b>38.6</b>	<b>16.6</b>	<b>174.7</b>	<b>617.9</b>	<b>971.2</b>	<b>2736.9</b>	<b>25898.5</b>	<b>3984.4</b>
MAX	648.7	628.6	656.7	543.8	214.7	93.5	11.5	9.7	48.2	208.5	279.7	476.1	2548.9	392.1
MED	242.6	333.2	383.9	264.2	92.3	17.7	2.4	1.0	10.9	38.6	60.7	171.1	1618.7	249.0
MIN	110.1	72.5	91.0	64.4	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	47.7	858.7	132.1
DESV	139.3	129.6	175.8	149.3	66.7	24.8	3.8	2.7	15.8	51.9	84.2	126.9	406.6	62.6
CV (%)	0.6	0.4	0.5	0.6	0.7	1.4	1.6	2.6	1.4	1.3	1.4	0.7	0.3	0.3

**Fuente: Subcomisión Ecuatoriana-  
PREDESUR (Machala)**

## Estación meteorológica EL SALADO

LATITUD.03° 44  
53" S

ESTACION EL SALADO

LONGITUD. 79°38  
20" W  
ALTURA .580  
msnm

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (mm)

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA
1990	100.0	166.8	220.7	313.0	127.8	5.9	1.5	0.0	1.7	31.3	16.4	77.7	1062.8	88.6
1991	70.0	104.1	307.3	82.9	96.6	6.4	0.0	0.0	.0.3	12.7	29.2	99.7	808.9	73.5
1992	117.4	226.2	194.1	277.3	119.0	12.7	0.0	2.5	23.7	0.3	8.7	25.2	1007.1	83.9
1993	197.5	413.4	418.2	210.0	23.2	0.0	4.0	0.2	1.7	28.0	16.7	207.4	1520.3	126.7
1994	348.8	263.8	142.5	174.7	10.8	6.7	0.0	0.7	0.6	0.0	4.4	111.2	1064.2	88.7
1995	98.8	212.6	207.2	118.4	67.0	4.8	3.3	0.2	1.0	10.2	33.1	108.1	864.7	72.1
1996	263.5	377.5	363.5	119.0	19.4	10.9	0.0	0.0	0.0	11.1	4.8	54.0	1223.7	102.0
1997	149.0	148.2	185.2	184.7	5.9	51.2	0.0	0.0	14.3	91.0	137.7	229.7	1196.9	99.7
1998	68.6	178.5	292.9	286.5	107.9	5.9	0.8	0.3	8.8	18.6	10.7	33.0	1012.5	84.4
1999	250.2	261.4	270.2	108.3	59.6	15.5	9.8	0.0	41.1	9.2	29.0	193.4	1247.7	104.0
2000	104.0	221.0	404.6	303.0	99.5	35.0	0.0	0.0	9.6	0.0	5.7	47.2	1229.6	102.5
2001	209.9	161.8	330.6	166.1	16.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	25.7	43.5	955.1	79.6
2002	49.9	227.1	178.1	154.0	20.5	6.0	1.8	0.0	0.0	10.0	45.1	86.8	779.3	64.9
2003	80.1	127.6	232.2	131.8	12.0	3.8	3.4	7.2	0.0	10.0	60.4	49.7	718.2	59.9
2004	138.6	162.5	261.9	149.2	50.6	1.5	3.7	2.6	63.3	16.7	13.5	26.2	890.3	74.2
2005	136.9	185.9	361.7	107.3	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	19.8	51.4	879.2	73.3
<b>SUMA</b>	<b>2383.2</b>	<b>3438.4</b>	<b>4370.9</b>	<b>2886.2</b>	<b>846.3</b>	<b>166.3</b>	<b>28.3</b>	<b>13.7</b>	<b>165.8</b>	<b>256.3</b>	<b>460.9</b>	<b>1444.2</b>	16460.5	1371.7
MAX	348.8	413.4	418.2	313.0	127.8	51.2	9.8	7.2	63.3	91.0	137.7	229.7	1520.3	126.7
MED	149.0	214.9	273.2	180.4	52.9	10.4	1.8	0.9	11.1	16.0	28.8	90.3	1028.8	86.1
MIN	49.9	104.1	142.5	82.9	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	25.2	718.2	59.9
DESV	83.6	83.7	84.9	75.8	44.1	13.8	2.6	1.9	18.5	22.0	32.9	65.8	212.9	17.4
CV (%)	0.6	0.4	0.3	0.4	0.8	1.3	1.5	2.2	1.7	1.4	1.1	0.7	0.2	0.2

## Estación meteorológica Chaguarpamba

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)

Estación: **CHAGUARPAMB**

n: **A**

Latitud: 03° 55 S

Longitud:

Código: M-754

d: 79 40 W

Institución:

ón: PREDESUR

Altitud: 1270 msnm

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA
1990	0.0	417.5	125.8	196.0	107.3	62.0	0.0	0.0	0.0	9.6	50.0	86.3	1054.5	87.9

1991	146.2	118.7	275.1	157.6	35.8	1.0	0.0	0.0	28.4	2.0	113.6	226.2	1104.6	92.1
1992	302.8	222.3	118.5	18.1	14.0	0.0	0.0	0.0	22.2	0.0	12.0	22.5	709.9	64.5
1993	14.8	54.0	329.5	38.6	7.7	0.0	0.0	7.4	0.0	21.6	24.6	61.4	559.6	46.6
1994	74.1	97.8	111.4	115.6	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	47.3	468.2	39.0
1995	163.0	73.7	126.6	141.4	105.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	134.1	745.4	62.1
1996	303.1	245.9	480.6	26.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	10.2	1066.6	88.9
1997	70.9	69.0	24.2	9.9	24.0	23.4	0.0	0.0	1.9	38.8	138.2	20.9	421.2	35.1
1998	18.9	48.5	112.0	97.4	21.6	0.0	0.8	0.0	0.0	7.8	9.0	93.7	409.7	34.1
1999	143.7	286.4	52.8	87.3	4.1	0.0	0.0	0.0	77.7	18.4	356.5	521.8	1548.7	129.1
2000	157.3	393.2	343.2	55.8	7.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.0	1004.5	83.7
2001	54.2	38.5	824.3	44.7	12.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.7	99.5	1129.3	94.1
2002	244.6	116.4	307.7	112.1	11.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	56.3	138.7	987.0	82.3
2003	96.6	3.8	15.2	30.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.2	80.4	254.9	21.2
2004	29.7	38.4	107.6	65.4	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	82.3	41.0	89.8	463.6	38.6
2005	136.5	137.8	69.6	27.9	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	374.5	31.2
<b>SUMA</b>	<b>1956.4</b>	<b>2361.9</b>	<b>3424.1</b>	<b>1224.9</b>	<b>381.3</b>	<b>87.4</b>	<b>0.8</b>	<b>7.4</b>	<b>130.2</b>	<b>180.9</b>	<b>889.6</b>	<b>1657.3</b>	<b>12302.2</b>	<b>1030.6</b>
MAX	303.1	417.5	824.3	196.0	107.3	62.0	0.8	7.4	77.7	82.3	356.5	521.8	1548.7	129.1
ME D	122.3	147.6	214.0	76.6	23.8	5.5	0.1	0.5	8.1	11.3	55.6	110.5	768.9	64.4
MIN	0.0	3.8	15.2	9.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	254.9	21.2
DESV	96.7	128.3	210.6	55.5	33.5	16.2	0.2	1.9	20.5	21.9	90.1	127.3	367.4	30.6
CV (%)	0.8	0.9	1.0	0.7	1.4	3.0	4.0	4.0	2.5	1.9	1.6	1.2	0.5	0.5

Nota: Estos son datos y tomados por la estación que maneja predesur en Machala

### Estación meteorológica Buena Vista

<b>NOMBRE:</b>	BUENAVISTA										<b>LATITU D:</b>	3G 53' 28" S			
<b>CODIGO:</b>	M0751										<b>LONGIT UD:</b>	79G 42' 56" W			
<b>INSTITUCION:</b>	INNA MHI										<b>ALTITU D:</b>	1209.00			
Año	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Arb</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ag o</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>No v</b>	<b>Dic</b>	<b>Suma</b>		
1990	<b>127.8</b>	<b>53.1</b>	<b>107.6</b>	39.7	34	3.9	16.4	0	8.1	68.2	24.4	106.4	589.6		
1991	157.5	325.3	270.4	45.5	48.4		0	0	0	9.5	23.1	239.4	1119.1		
1992	<b>176.6</b>	<b>241.8</b>	<b>224.7</b>	<b>223.5</b>	<b>160.8</b>	<b>28.5</b>	<b>1.5</b>	<b>2.5</b>	<b>27.4</b>	<b>13.2</b>	<b>10.4</b>	<b>51.2</b>	1161.9		
1993	<b>165.6</b>	<b>430.7</b>	<b>446.3</b>	<b>339.0</b>	<b>72.9</b>	<b>5.0</b>	<b>5.6</b>	<b>0.2</b>	<b>5.0</b>	<b>38.8</b>	<b>35.1</b>	<b>206.6</b>	1750.9		

1994	<b>340.4</b>	<b>319.6</b>	<b>260.8</b>	<b>237.4</b>	<b>69.6</b>	<b>4.2</b>	<b>1.9</b>	<b>1.3</b>	<b>13.0</b>	<b>3.1</b>	<b>28.8</b>	<b>89.1</b>	1369.1
1995	<b>95.0</b>	<b>212.5</b>	<b>273.1</b>	<b>98.7</b>	<b>86.3</b>	<b>5.7</b>	<b>14.4</b>	<b>0.5</b>	<b>1.8</b>	<b>11.1</b>	<b>58.7</b>	<b>129.0</b>	986.8
1996	<b>224.5</b>	<b>265.8</b>	<b>183.2</b>	<b>80.7</b>	<b>17.4</b>	<b>10.1</b>	<b>0.3</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>25.4</b>	<b>4.2</b>	<b>35.7</b>	847.3
1997	<b>137.9</b>	<b>201.2</b>	<b>239.4</b>	<b>207.1</b>	<b>25.1</b>	<b>71.8</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>35.1</b>	<b>70.9</b>	<b>170.2</b>	<b>338.7</b>	1497.4
1998	<b>118.1</b>	<b>283.8</b>	<b>294.5</b>	<b>323.6</b>	<b>125.6</b>	<b>10.3</b>	<b>1.0</b>	<b>7.2</b>	<b>8.5</b>	<b>29.3</b>	<b>24.8</b>	<b>57.9</b>	1284.6
1999	<b>207.4</b>	<b>423.5</b>	<b>359.4</b>	<b>163.1</b>	<b>96.6</b>	<b>43.8</b>	<b>5.4</b>	<b>1.1</b>	<b>26.5</b>	<b>14.2</b>	<b>26.2</b>	<b>203.9</b>	1571.0
2000	423.1	921.1	1335.2	473.7	400.4	608.9	344.7	0	26	0	0	161.9	4695.0
2001	434.7	62.7	326.6	81.6	27.4	26	0	0	0	0	17.4	134.6	1111.0
2002	138.8	132.2	140.3	132.5	97.6	0	0	0	0	0	47.7	211.7	900.8
2003	100.6	161.5	113.5	130.2	218.7	126.4	0	0	0	0.4	43.9	183.8	1079.0
2004	194.9	176.9	215.3	234.6	74	122	0.8	0	240.9	279.8	8.2	129.4	1676.8
2005	287.7	347.8	843.8	177.7	186.5	30.4	0	0	0	0	85	178.5	2137.4
2006	<b>111.4</b>	<b>371.2</b>	<b>357.8</b>	<b>197.4</b>	<b>6.4</b>	<b>13.4</b>	<b>8.6</b>	<b>0.6</b>	<b>3.9</b>	0.2	176.1	77.9	1325.0
2007	<b>127.7</b>	<b>76.9</b>	<b>364.7</b>	<b>249.3</b>	<b>70.5</b>	<b>5.4</b>	<b>10.4</b>	<b>1.6</b>	<b>0.3</b>	<b>15.3</b>	<b>21.4</b>	<b>63.6</b>	1007.1
MEDIA	198.32	278.21	353.14	190.85	101.00	65.64	22.84	0.83	22.03	32.18	44.75	144.40	1450.55

### Anexo 3. Aforos volumétricos microcuenca porotillo



#### Punto de interés zona de captación



**Anexo 4.** Levantamiento topográfico captación (punto de interés), conducción

Instrumentos utilizados para el Levantamiento de puntos con la estación total y el GPS diferencial



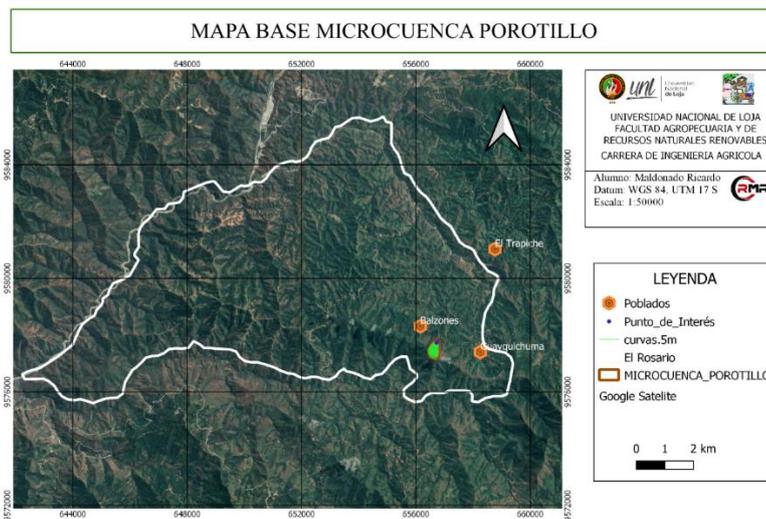
### Levantamiento topográfico captación (punto de interés)



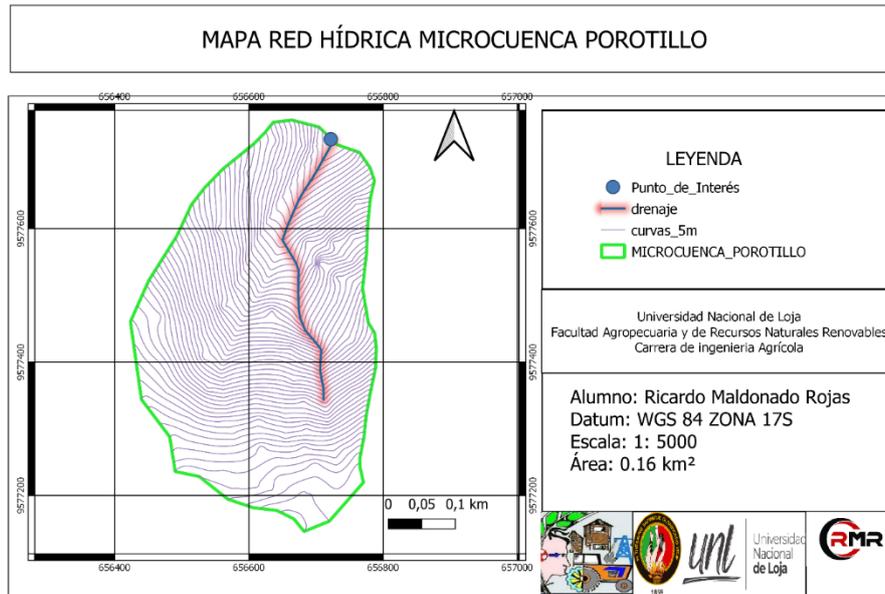
### Levantamiento topográfico (conducción)



### Anexo 5. Mapa base microcuenca Porotillo



## Anexo 6. Mapa Red hídrica de la microcuenca Porotillo



## Anexo 7. Cálculos correspondientes para el diseño de la bocatoma tipo rejilla de fondo.

### Información previa para diseño bocatoma con rejilla de fondo

Caudal a captar: 2,95 m<sup>3</sup>/s

Ancho del río= El ancho del río en el lugar de captación es de 1.5 m.

Ancho de la Presa= 1.0 m

### Diseño de la bocatoma o captación

Diseño bocatoma tipo rejilla de fondo

El ancho de la presa se asume de 1.0 m.

El espesor de la lámina de agua para el caudal de diseño es igual a:

$$H = \left( \frac{Q}{1.84L} \right)^{\frac{2}{3}} = H = \left( \frac{2.95}{1.84 \times 1.0} \right)^{\frac{2}{3}} = 1.37 \text{ m}$$

La corrección por las dos contracciones laterales se calcula de la siguiente manera

$$L' = L - 0.2H = 1.00 - 0.2 \times 1.37 = 0.73 \text{ m}$$

Velocidad del río sobre la presa:

$$V = \frac{Q}{L'H} = \frac{2.95}{0.73 \times 1.37} = 2.94 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$0.3 \text{ m/s} < 2.94 \text{ m/s} < 3.0 \text{ m/s}$$

## Diseño de la rejilla y el canal de aducción

El ancho del canal de aducción será:

$$X_s = 0.36Vr^{\frac{2}{3}} + 0.60H^{\frac{4}{7}} = 0.36 \times (2.94)^{\frac{2}{3}} + 0.60 \times (1.37)^{\frac{4}{7}}$$

$$X_s = 1.45 \text{ m}$$

$$X_i = 0.18Vr^{\frac{4}{7}} + 0.74H^{\frac{3}{4}} = 0.18 \times (2.94)^{\frac{4}{7}} + 0.74 \times (1.37)^{\frac{3}{4}}$$

$$X_i = 1.27 \text{ m}$$

$$B = X_s + 0.10 = 1.45 + 0.10$$

$$B = 1.55 \text{ m}$$

### La longitud de la rejilla y el número de orificios se determinan así:

Se adoptan barrotes de 1/2" (0.0127m) y separación entre ellos de 1 centímetros y se asume una velocidad entre barrotes igual a 0.10 m/s

$$An = \frac{Q}{0.9Vb} = \frac{2.95}{0.9 \times 0.1} = 32.77 \text{ m}^2$$

$$Lr = \frac{\frac{a}{a+b} B Lr}{0.01 \times 0.4} = 1.0 \cong 1.0 \text{ m}$$

Se adopta una longitud de rejilla.1.0 m.

$$An = \frac{0.01}{0.01 + 0.0127} * 0.40 * 0.70 = 0.22 \text{ m}^2$$

El número de orificios es igual a:

$$N = \frac{An}{a * B} = \frac{0.22}{0.01 * 0.40} = 55 \cong 55 \text{ orificios}$$

Se adoptan 55 orificios separados 1 cm entre sí, con lo cual se tienen las siguientes condiciones finales:

$$An = 0.01 * 0.40 * 55 = 0.22 \text{ m}^2$$

$$Vb = \frac{2.95}{0.9 \times 0.22} = 14.89 \text{ m/s}$$

$$Lr = \frac{0.22 \times (0.01 + 0.0127)}{0.01 \times 0.4} = 0.0069 \text{ m}$$

Los niveles de agua en el canal de aducción son:

- Aguas abajo

$$h_e = h_c = \left( \frac{Q^2}{gB^2} \right)^{\frac{1}{3}} = \left[ \frac{2.95^2}{9.81 \times 0.40^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 1.77 \text{ m}$$

- aguas arriba

$$L_c = L_r + \text{espesor del muro} = 0.0095 + 1.77 = 1,78 \text{ m}$$

se adopta  $i = 3\%$

$$h_o = [2he^2 + [he - \frac{iLr}{3}]2]^{\frac{1}{2}} - \frac{2}{3}iLr$$

$$h_o = [2(1.77)^2 + [1.77 - \frac{0.03 \times 1.77}{3}]2]^{\frac{1}{2}} - \frac{2}{3} \times 0.03 \times 1.77 = 2,96 \text{ m}$$

$$H_o = h_o + B.L. = 2.96 + 0.15 = 3.11 \text{ m}$$

$$H_e = h_e + (h_o - h_e) + iL_c + B.L.$$

$$H_e = 1.77 + (3.11 - 1.77) + 0.03 \times 1.77 + 0.15 = 3.31 \text{ m}$$

**La velocidad del agua al final del canal será:**

$$V_b = \frac{Q}{B \times h_e} = \frac{2.95}{0.40 \times 3.31} = 2.22 \text{ m/s}$$

Esta velocidad deberá ser mayor a 0.3 m/s y menor a 3 m/s

$$0.3 \text{ m/s} < 2.22 \text{ m/s} < 3.0 \text{ m/s} \text{ ok//}$$

**Diseño de la Cámara de Recolección**

$$X_s = 0.36Vr^{\frac{2}{3}} + 0.60H^{\frac{4}{7}} = 0.36 \times (2.22)^{\frac{2}{3}} + 0.60 \times (1.77)^{\frac{4}{7}}$$

$$X_s = 1.44 \text{ m}$$

$$X_i = 0.18Vr^{\frac{4}{7}} + 0.74H^{\frac{3}{4}} = 0.18 \times (2.31)^{\frac{4}{7}} + 0.74 \times (0.54)^{\frac{3}{4}}$$

$$X_s = 1.42 \text{ m}$$

Para facilitar las actividades de mantenimiento, se adopta una cámara cuadrada de recolección de 1.5 m de lado.

El borde libre de la cámara es de 15 centímetros, por lo que el fondo de la cámara estará a 75 centímetros por debajo de la cota del fondo del canal de aducción a la entrega (suponiendo una cabeza de 0.60 m que debe ser verificada una vez realizado el diseño de la conducción al desarenador).

**Cálculo de la altura de los muros de contención**

Tomando el caudal máximo del río de 3.45 m<sup>3</sup>/s, se tiene:

$$H = \left( \frac{Q}{1.84L} \right)^{\frac{2}{3}} = \left( \frac{2.95}{1.84 \times 1.0} \right)^{\frac{2}{3}} = 1.36 \cong 1.5 \text{ m}$$

**Anexo 8.** Estación meteorológica Zaruma\_ precipitaciones máximas 24 horas\_

Año	Ene	Feb	Mar	Abr.	May	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic
1982	59.7	35.2	37.3	29.2	22.8	5.1	4.3	0	18.3	9.7	30	73
1983	42.2	54.5	51.3	50.3	28.1	8.7	5.1	1.8	7.4	9.2	14.7	26.9
1984	42.2	54.5	51.3	50.3	28.1	8.7	5.1	1.8	7.4	9.2	14.7	26.9
1985	42.2	54.5	51.3	50.3	28.1	8.7	5.1	1.8	7.4	9.2	14.7	26.9
1986	38.8	36.3	51.3	50.3	14.2	0.4	0.3	2.9	7.6	2.1	27.1	0
1987	58.7	10.9	9.7	32.5	9.7	1.2	7.2	5	2	8.3	26.2	17.8
1988	42.2	54.5	51.3	50.3	28.1	8.7	5.1	1.8	7.4	9.2	14.7	26.9
1989	63	59.3	28.2	43.7	11.3	8.8	0.5	0.9	3.1	8.7	4.9	3.5
1990	34.4	41.3	36.1	53	56.2	5.1	5.5	0	6	9.6	12	22.8
1991	21.2	36.3	91.2	29.4	18.5	9	6	0	1.1	12.6	13.3	48
1992	62.4	74.4	51.3	45.8	34.2	8.7	1.3	1.6	14.8	1	4.1	18.2
1993	39.7	80.3	51.2	90.6	29	1.9	5.7	0.3	1.8	12.6	7.6	25
1994	71.4	59.6	29	95	42.2	3.5	0.8	0	8.1	1.6	13.8	21.4
1995	33.6	52.4	47.3	38	41.1	3.6	3.2	0.6	2.4	4.5	23.3	65.5
1996	57.4	57.8	84.5	48	17.3	12.4	0.4	0	0	29.1	3.4	11.4
1997	42.2	88.3	48.2	65.2	17.4	58.5	0.1	0	29.4	34	38.7	53.3
1998	28	51	43.1	55.5	35.8	2.7	0.7	1.8	7.4	11.3	8.4	17.7
1999	41.1	35.3	64.6	43.3	18.3	25.2	5.6	0.3	20.4	6.8	23.9	28.6
2000	38	38.2	57.7	42.9	34	8.8	5.1	0.2	6.9	0.3	3	22.1
2001	48.6	60.1	51.3	35.1	50	0.5	5.1	1.8	0.4	1.1	14.7	15.1
2002	23.4	54.5	63.5	31.5	28.1	2.8	1	0	7.4	4.8	14.6	26.9
2003		54.5	72	50.1	25	4.3	2.6	1.8	7.4	9.2	14.7	26.7
2004	48.3	44.4	40	58.2	34.4	4.6	1.2	1.8	16.3	6.9		7.3
2005	36.3	57.2	66.9	26.3	8	6.3	0	0.1	7.4	9.2	14.7	26.9
2006	20.2	63.5	51.8	40	4.6	6.9	5.5	1.3	7.4	9.2	14.7	71.4
2007	33.3	54.5	51.3	52.8	14.8	8.7	5.1	1.3	0	4.4	5.1	26.9
2008	33.7	77.3	60.3	84.8	63.4	9.7	5.7	5.8	4.6	12.3	13.6	8.4
2009	33.7	77.3	60.3	84.8	63.4	9.7	5.7	5.8	4.6	12.3	13.6	8.4
2010	45.9	65	51.3	34.4	28.1	9.2	15.3	12.2	4.2	8.8	13.7	26.9
2011	42.2	52.4	33.4	48.2	9.2	8.7	37.9	1.3	3.6	9.2	9.3	26.9
<b>PROMEDIO</b>	<b>42.2</b>	<b>54.5</b>	<b>51.3</b>	<b>50.3</b>	<b>28.1</b>	<b>8.7</b>	<b>5.1</b>	<b>1.8</b>	<b>7.4</b>	<b>9.2</b>	<b>14.7</b>	<b>26.9</b>

**Anexo 9.** Cálculos correspondientes, obtención del caudal por el método racional (Intensidad máxima de precipitación)

*Cálculo del caudal de la microcuenca*

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n} = 67.37 \text{ mm}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} = 13.47 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 10.50 \text{ mm}$$

$$\mu = \bar{X} - 0.5772 * \alpha = 61.31 \text{ mm}$$

**Tabla 21.** Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel

Nº	Año	Precipitación (mm)	
		$x_i$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	1982	73.0	31.7
2	1983	54.5	165.6
3	1984	54.5	165.6
4	1985	54.5	165.6
5	1986	51.3	258.2
6	1987	58.7	75.2
7	1988	54.5	165.6
8	1989	63.0	19.1
9	1990	56.2	124.8
10	1991	91.2	567.9
11	1992	74.4	49.4
12	1993	90.6	539.6
13	1994	95.0	763.4
14	1995	65.5	3.5
15	1996	84.5	293.4
16	1997	88.3	438.1
17	1998	55.5	140.9
18	1999	64.6	7.7
19	2000	57.7	93.5
20	2001	60.1	52.9
21	2002	63.5	15.0
22	2003	72.0	21.4
23	2004	58.2	84.1
24	2005	66.9	0.2
25	2006	71.4	16.2
26	2007	54.5	165.6
27	2008	84.8	303.8
28	2009	84.8	303.8
29	2010	65.0	5.6
30	2011	52.4	224.1
30	SUMA	2021.1	5261.7

**Cálculo de las Precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias**

La Tabla 22 presenta el resultado de las precipitaciones diarias máximas probables para distintas frecuencias, en relaciones a diferentes periodos de retorno, de acuerdo a la probabilidad de ocurrencia mediante una distribución por Gumbel.

**Tabla 22.** Precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias

Periodo Retorno	Variable Reducida	Precip. (mm)	Prob. de ocurrencia	Corrección intervalo fijo
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0.37	65.16	0.50	73.63
5	1.50	77.06	0.80	87.08
10	2.25	84.94	0.90	95.98

<b>25</b>	3.20	94.90	0.96	107.24
<b>50</b>	3.90	102.29	0.98	115.59
<b>100</b>	4.60	109.62	0.99	123.87
<b>500</b>	6.21	126.57	1.00	143.02

***Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias***

La tabla 23 presenta los resultados de precipitación máxima diaria probable por tiempos de duración de precipitación y por años de periodo de retorno.

**Tabla 23.** Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias

<b>Tiempo de duración</b>	<b>Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración</b>						
	<b>2 años</b>	<b>5 años</b>	<b>10 años</b>	<b>25 años</b>	<b>50 años</b>	<b>100 años</b>	<b>500 años</b>
<b>24 hr</b>	73.63	87.08	95.98	107.24	115.59	123.87	143.02
<b>18 hr</b>	67.00	79.24	87.35	97.59	105.18	112.72	130.15
<b>12 hr</b>	58.90	69.66	76.79	85.79	92.47	99.10	114.42
<b>8 hr</b>	50.07	59.21	65.27	72.92	78.60	84.23	97.25
<b>6 hr</b>	44.91	53.12	58.55	65.41	70.51	75.56	87.24
<b>5 hr</b>	41.97	49.64	54.71	61.13	65.88	70.61	81.52
<b>4 hr</b>	38.29	45.28	49.91	55.76	60.10	64.41	74.37
<b>3 hr</b>	33.87	40.06	44.15	49.33	53.17	56.98	65.79
<b>2 hr</b>	28.71	33.96	37.43	41.82	45.08	48.31	55.78
<b>1 hr</b>	22.09	26.12	28.80	32.17	34.68	37.16	42.91

***Intensidades de lluvia a partir de Pd, según Duración de precipitación y Frecuencia de la misma.***

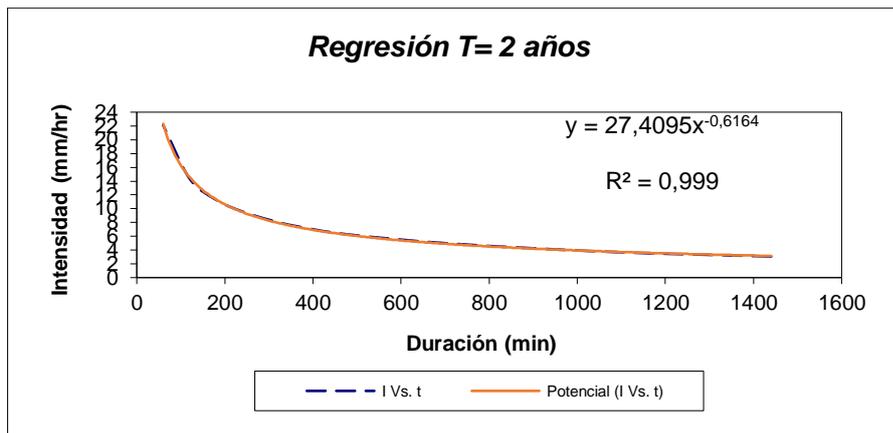
En la Tabla 24 se presentan los resultados de la intensidad de precipitación en (mm/hr), según el periodo de retorno y distintas duraciones de precipitación.

**Tabla 24.** Intensidades de lluvia a partir de Pd

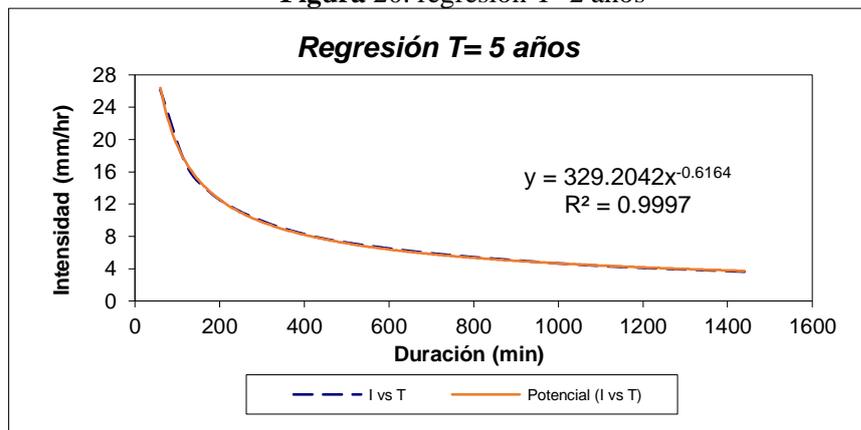
<b>Tiempo de duración</b>	<b>Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno</b>							
	<b>Hr min</b>	<b>2 años</b>	<b>5 años</b>	<b>10 años</b>	<b>25 años</b>	<b>50 años</b>	<b>100 años</b>	<b>500 años</b>
<b>24 hr</b>	1440	3.1	3.6	4.0	4.5	4.8	5.2	6.0
<b>18 hr</b>	1080	3.7	4.4	4.9	5.4	5.8	6.3	7.2
<b>12 hr</b>	720	4.9	5.8	6.4	7.1	7.7	8.3	9.5
<b>8 hr</b>	480	6.3	7.4	8.2	9.1	9.8	10.5	12.2
<b>6 hr</b>	360	7.5	8.9	9.8	10.9	11.8	12.6	14.5
<b>5 hr</b>	300	8.4	9.9	10.9	12.2	13.2	14.1	16.3
<b>4 hr</b>	240	9.6	11.3	12.5	13.9	15.0	16.1	18.6
<b>3 hr</b>	180	11.3	13.4	14.7	16.4	17.7	19.0	21.9
<b>2 hr</b>	120	14.4	17.0	18.7	20.9	22.5	24.2	27.9
<b>1 hr</b>	60	22.1	26.1	28.8	32.2	34.7	37.2	42.9

A continuación, se presentan las regresiones y los cambios de variable para determinar los diferentes parámetros de ajuste (k, m, n) de la fórmula de intensidad, como podemos

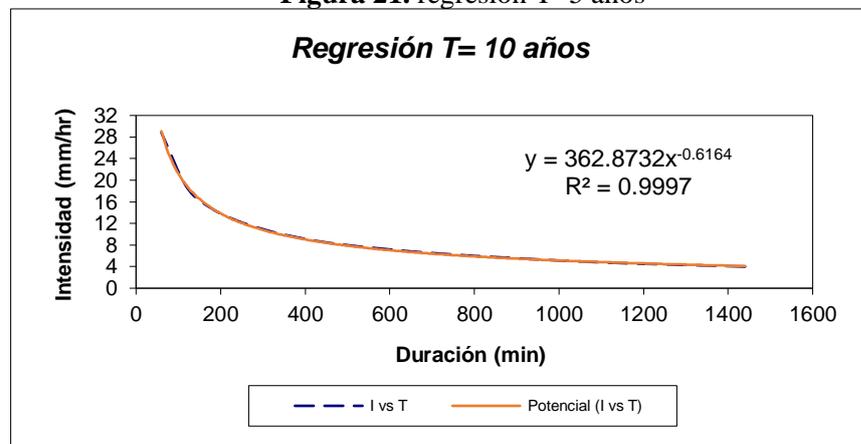
observar en la (Figura 21-27) la representación gráfica para un periodo de retorno de 2 años se observa la tendencia que a una mayor intensidad de lluvia hay una menor duración en cuanto al tiempo; mientras que a una menor intensidad el tiempo de duración va aumentando. Este tipo de tendencia se mantiene en los demás periodos de retorno a una mayor intensidad de precipitación el tiempo de duración es menor; y en el otro caso mientras que su intensidad va disminuyendo el tiempo de duración de lluvia aumenta.



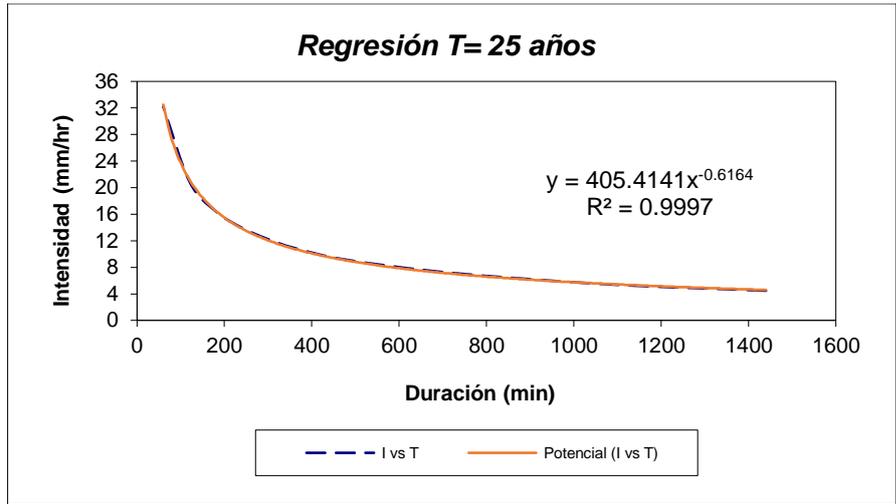
**Figura 20.** regresión T=2 años



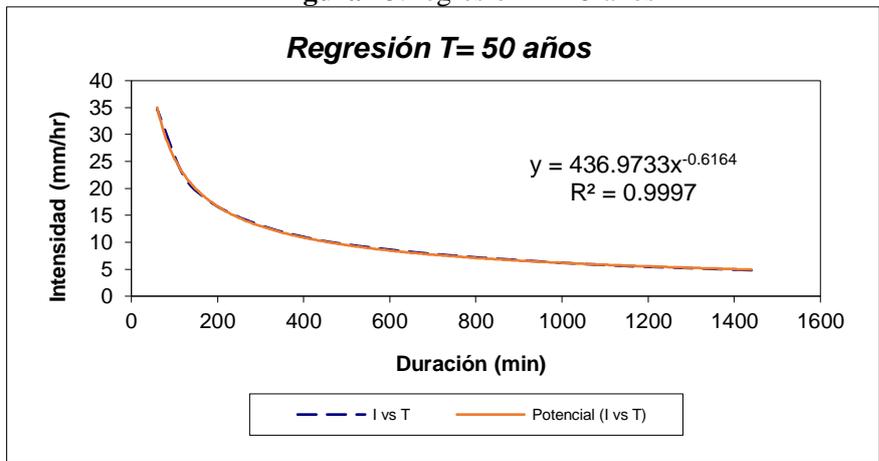
**Figura 21.** regresión T=5 años



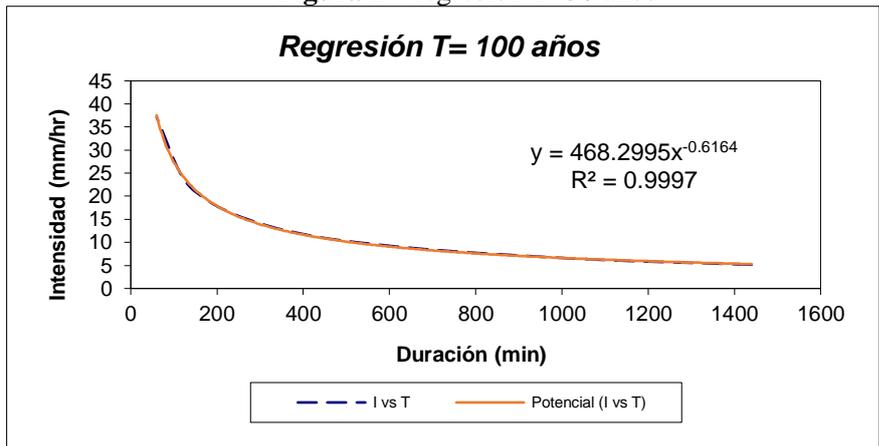
**Figura 22.** regresión T=10 años



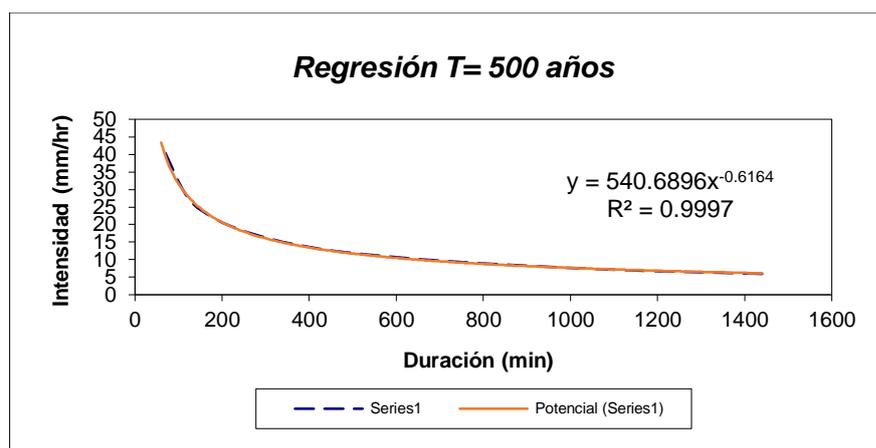
**Figura 23.** regresión T=25 años



**Figura 24.** regresión T=50 años



**Figura 25.** regresión T=100 años



**Figura 26.** regresión T=500 años

A continuación Tabla 25, se presentan las constantes de regresión para determinar los parámetros (K) y (m); en función del cambio de variable realizado, se realiza otra regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno (T) y el término constante de regresión (d), para obtener valores de la ecuación:

**Tabla 25.** Constantes de regresión potencial

<i>Resumen de aplicación de regresión potencial</i>		
<b>Periodo de Retorno (años)</b>	<b>Término cte. de regresión (d)</b>	<b>Coef. de regresión [n]</b>
<b>2</b>	278.35	-0.62
<b>5</b>	329.20	-0.62
<b>10</b>	362.87	-0.62
<b>25</b>	405.41	-0.62
<b>50</b>	436.97	-0.62
<b>100</b>	468.30	-0.62
<b>500</b>	540.69	-0.62
<b>Promedio =</b>	403.12	-0.62

En la Tabla 26 a continuación se presentan los resultados en cuanto a la Regresión Potencial. Su representación gráfica como se puede observar en la (Figura 28). El término constante de regresión (K) = 269.77; y el coeficiente de regresión (m) = 0.12

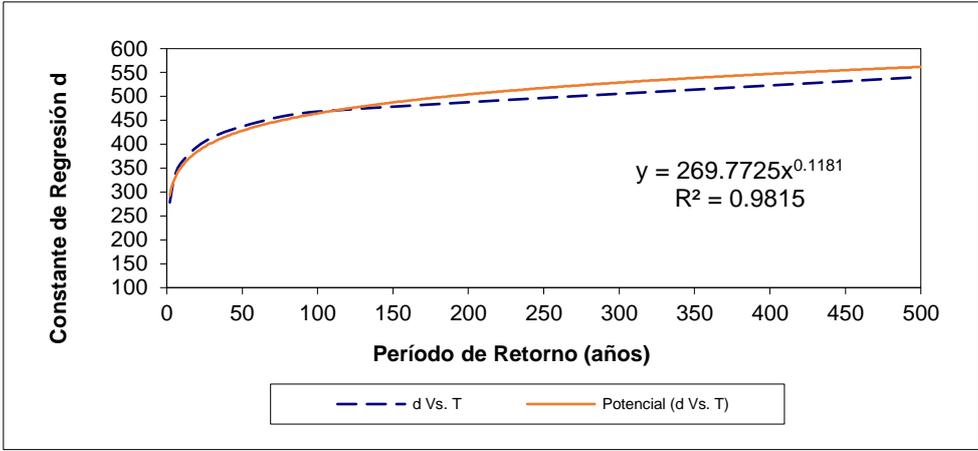
**Tabla 26.** Regresión Potencial

<i>Regresión potencial</i>						
<b>Nº</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>ln x</b>	<b>ln y</b>	<b>ln x*ln y</b>	<b>(lnx)^2</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>278.35</b>	0.69	5.63	3.90	0.48
<b>2</b>	<b>5</b>	<b>329.20</b>	1.61	5.80	9.33	2.59
<b>3</b>	<b>10</b>	<b>362.87</b>	2.30	5.89	13.57	5.30
<b>4</b>	<b>25</b>	<b>405.41</b>	3.22	6.00	19.33	10.36
<b>5</b>	<b>50</b>	<b>436.97</b>	3.91	6.08	23.78	15.30
<b>6</b>	<b>100</b>	<b>468.30</b>	4.61	6.15	28.32	21.21
<b>7</b>	<b>500</b>	<b>540.69</b>	6.21	6.29	39.11	38.62
<b>7</b>	692	2821.81	<b>22.56</b>	<b>41.85</b>	<b>137.34</b>	<b>93.87</b>

---


$$\ln(K) = 5.5976 \quad K = 269.7725 \quad m = 0.1181$$


---

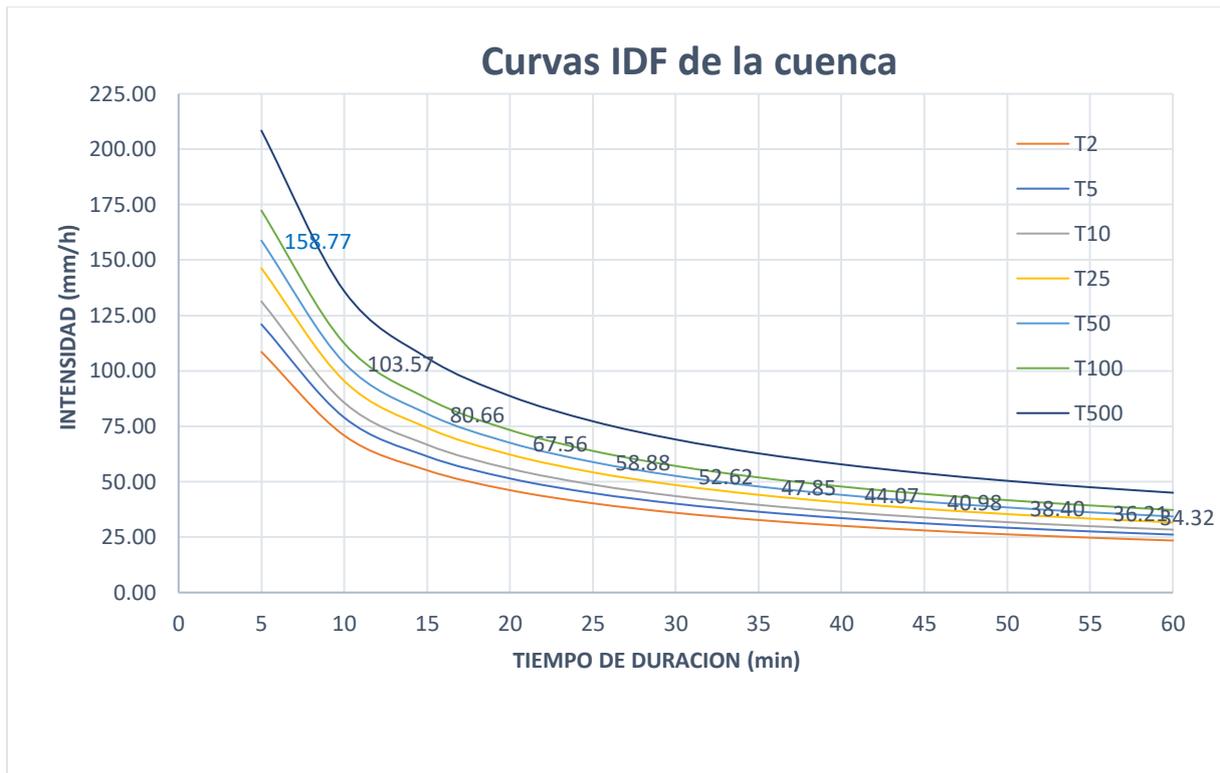


**Figura 27.** Constante Regresión potencial años

A continuación, se presentan las tablas de intensidades en cuanto al tiempo de duración y las Curvas IDF como se observa en la (Figura 29), de la microcuenca porotillo en relación a la intensidad y el tiempo de duración en base a los resultados que se muestran en la (Tabla 27).

**Tabla 27.** Tabla de intensidades-Tiempo de duración

<b>Tabla de intensidades - Tiempo de duración</b>												
<b>Frecuencia</b>	<b>Duración en minutos</b>											
<b>años</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>40</b>	<b>45</b>	<b>50</b>	<b>55</b>	<b>60</b>
<b>2</b>	108.57	70.82	55.16	46.20	40.26	35.98	32.72	30.13	28.02	26.26	24.76	23.47
<b>5</b>	120.97	78.91	61.46	51.47	44.86	40.09	36.46	33.58	31.23	29.26	27.59	26.15
<b>10</b>	131.29	85.64	66.70	55.86	48.69	43.51	39.57	36.44	33.89	31.76	29.95	28.38
<b>25</b>	146.29	95.43	74.32	62.25	54.25	48.48	44.09	40.60	37.76	35.39	33.37	31.63
<b>50</b>	158.77	103.57	80.66	67.56	58.88	52.62	47.85	44.07	40.98	38.40	36.21	34.32
<b>100</b>	172.31	112.40	87.54	73.32	63.90	57.10	51.93	47.83	44.48	41.68	39.30	37.25
<b>500</b>	208.37	135.92	105.87	88.66	77.27	69.06	62.80	57.84	53.79	50.40	47.53	45.05



**Figura 28.** Curvas IDF de la cuenca

**Anexo 10.** Cálculos correspondientes al consumo y dotación de agua para consumo humano

### Consumo medio Anual

Este consumo se obtuvo multiplicando la dotación media futura por la población al final del período y por un factor de fugas, cuyo resultado dividido entre 86400, permite obtener un caudal en litros por segundo, obteniendo un consumo medio de 0.5 l/s.

$$Qm = \frac{f * Df * Pf}{86400}$$

$$Qm = \frac{(1.2 * 180 * 200)}{86400}$$

$$Qm = 0.5 \frac{l}{s}$$

### Caudal Máximo Diario

Se lo obtuvo multiplicando el caudal medio (Qm), por el coeficiente de mayoración. El coeficiente de mayoración (KMD), cuyo valor, recomendado por la Norma está entre (1.3 – 1.5). Por lo que, el QMD es 0.75 l/s.

$$QMD = KMD * Qm$$

$$QMD = 1.5 * 0.5$$

$$QMD = 0.75 \frac{l}{s}$$

### Caudal Máximo Horario

El QMH, según la Norma CO 10.7 – 601, se determinó multiplicando el Qm (caudal medio diario) por un coeficiente de variación horaria KMH, cuyo valor recomendado para el caso es (2 - 2.3), obteniendo el valor de 1.15 l/s.

$$QMH = KMH * Qm$$

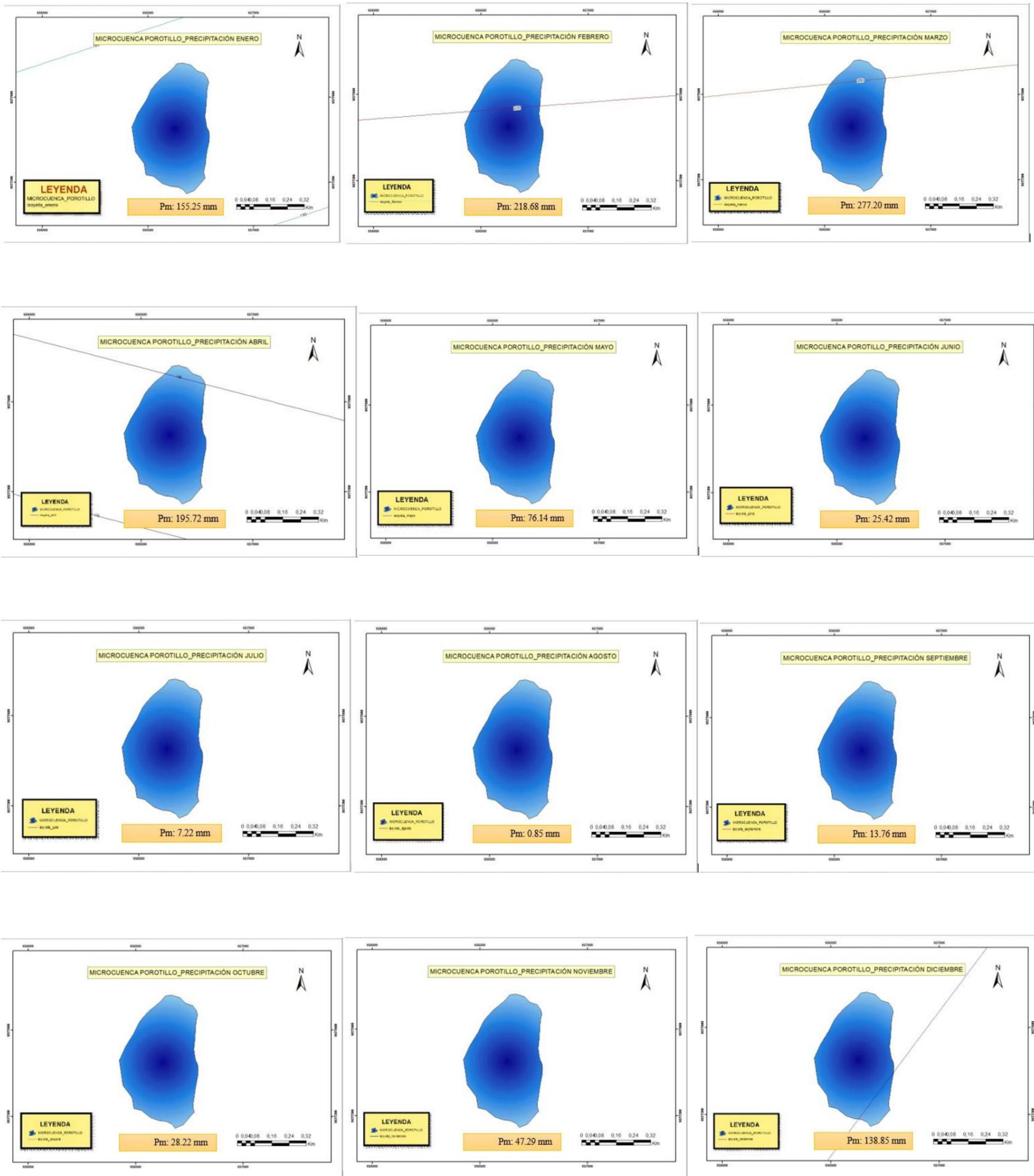
$$QMH = 2.3 * 0.5$$

$$QMH = 1.15 \frac{l}{s}$$

### Anexo 11. Caudales medios mensuales estación meteorológica Zaruma

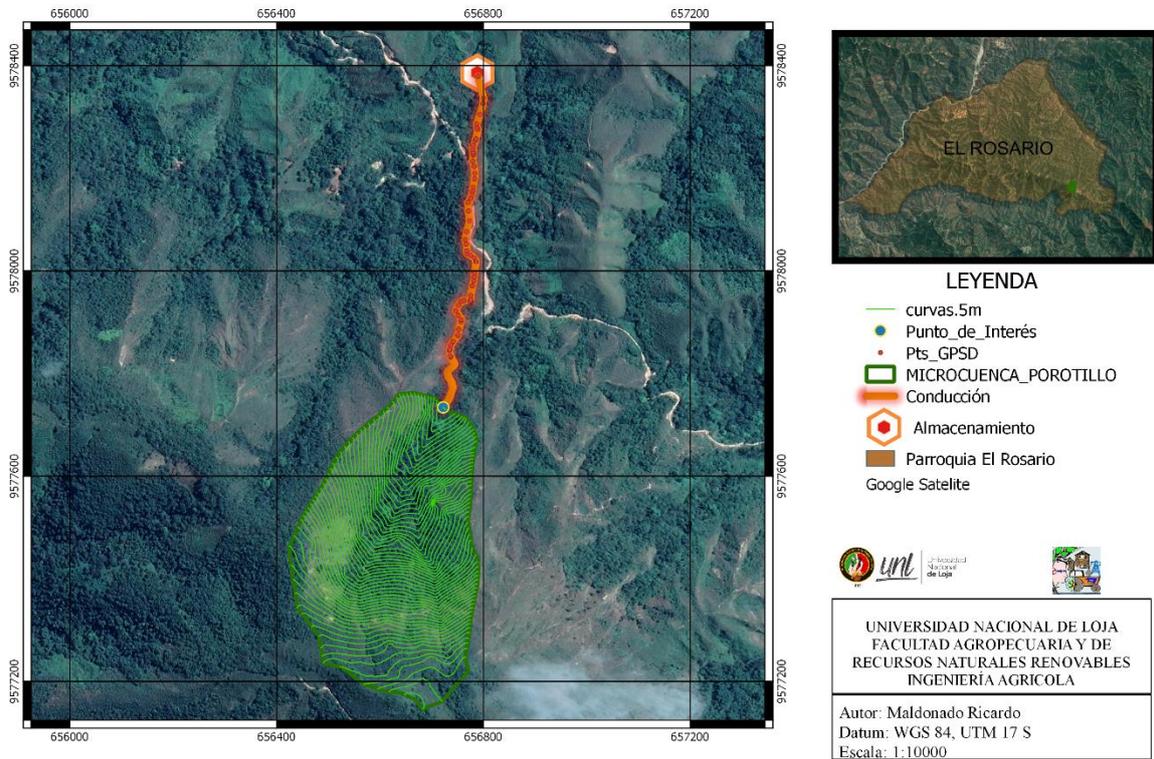
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic
1982	5.72	4.68	4.49	3.22	1.52	0.10	0.15	0.00	2.02	1.79	2.91	6.48
1983	5.37	2.68	6.55	6.51	6.29	1.82	0.46	0.22	0.48	1.17	0.77	4.42
1984	0.91	9.41	6.59	6.22	1.83	0.65	0.00	0.17	0.20	1.98	1.26	3.58
1985	3.83	1.66	2.96	0.71	0.91	0.06	0.00	0.12	0.69	0.28	0.13	3.08
1986	3.98	4.26	1.15	5.59	0.93	0.01	0.01	0.27	0.27	0.20	1.10	0.00
1987	4.93	1.59	1.32	2.41	0.64	0.04	0.31	0.24	0.12	0.32	1.14	0.74
1988	6.78	9.30	0.99	2.88	1.84	0.21	0.16	0.04	0.67	0.27	1.10	2.31
1989	8.34	7.55	3.48	3.26	0.49	0.50	0.01	0.02	0.10	0.85	0.20	0.50
1990	3.45	4.19	3.21	4.65	2.48	0.25	0.16	0.00	0.04	0.67	0.71	1.93
1991	2.55	3.56	7.02	2.54	1.61	0.71	0.18	0.00	0.02	0.45	0.61	3.54
1992	4.42	5.89	4.42	6.11	3.11	1.08	0.03	0.07	0.71	0.05	0.31	1.26
1993	4.73	10.18	8.12	9.36	2.32	0.06	0.22	0.01	0.07	0.54	0.36	4.07
1994	7.68	7.64	4.66	5.02	2.25	0.15	0.02	0.00	0.21	0.10	0.47	2.48
1995	2.42	5.38	5.62	2.55	2.26	0.22	0.19	0.02	0.05	0.36	1.27	3.11
1996	7.12	6.67	7.15	3.15	0.68	0.39	0.01	0.00	0.00	0.99	0.16	1.40
1997	3.21	5.53	4.79	5.86	0.85	2.51	0.00	0.00	0.96	1.46	4.44	7.55
1998	2.37	6.41	7.51	7.56	3.27	0.13	0.04	0.11	0.23	0.43	0.66	1.06
1999	5.52	6.28	5.84	3.25	1.67	1.19	0.21	0.01	0.85	0.34	0.89	4.95
2000	2.70	7.10	7.61	6.38	3.37	0.66	0.00	0.01	0.41	0.01	0.25	1.90
2001	5.57	4.43	5.13	1.83	2.22	0.03	0.08	0.00	0.03	0.03	1.43	1.67
2002	2.09	5.78	7.19	4.21	2.02	0.12	0.04	0.00	0.02	0.39	1.18	3.27
2003	1.82	5.02	4.94	3.72	0.99	0.28	0.09	0.15	0.01	0.32	1.73	1.79
2004	3.18	4.94	4.49	4.58	1.48	0.12	0.04	0.03	0.89	0.47	0.40	1.11
2005	3.72	5.16	8.88	1.55	0.43	0.18	0.00	0.00	0.02	0.29	0.32	1.42
2006	3.81	8.07	8.61	4.13	0.24	0.45	0.13	0.02	0.15	0.27	0.43	5.27
2007	3.82	1.08	7.62	4.95	1.94	0.14	0.35	0.06	0.00	0.20	0.55	1.76
2008	6.53	6.32	5.98	8.95	2.54	0.63	0.16	0.29	0.13	1.04	1.21	0.96
2009	6.72	6.28	4.52	3.91	3.66	0.21	0.11	0.03	0.35	0.05	0.46	3.21
2010	4.12	5.98	7.91	3.98	1.93	0.41	0.51	0.28	0.10	0.35	0.72	2.67
2011	6.17	5.04	3.59	6.13	0.65	1.24	1.07	0.03	0.10	0.59	0.85	3.86
Promedio	4.45	5.60	5.41	4.51	1.88	0.49	0.16	0.07	0.33	0.54	0.93	2.72

**Anexo 12. Mapas de precipitación media mensual de la microcuenca Porotillo**



### Anexo 13. Mapa Levantamiento topográfico: punto de interés, conducción y almacenamiento

#### LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO: PUNTO DE INTERES, CONDUCCION Y ALMACENAMIENTO



**Anexo 14.** Certificación de traducción del Resumen (Abstract)

Lic. Andrea Sthefanía Carrión Mgs

0984079037

[andrea.s.carrion@unl.edu.ec](mailto:andrea.s.carrion@unl.edu.ec)

Loja-Ecuador

Loja, 28 de noviembre del 2024

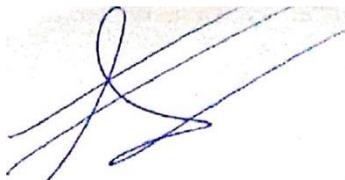
La suscrita, Andrea Sthefanía Carrión Fernández, Mgs, DOCENTE EDUCACIÓN SUPERIOR (registro de la SENESCYT número: 1008-12-1124463d, ÁREA DE INGLÉS- UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, a petición de la parte interesada y en forma legal.

**CERTIFICA:**

Que la traducción del resumen del documento adjunto, solicitado por el señor: Ricardo Rafael Maldonado Rojas con cédula de ciudadanía No. 1150284188, cuyo tema de investigación se titula: **“Diseño hidroagrícola para el aprovechamiento de la vertiente Porotillo para el consumo doméstico y riego de la finca San Héctor de la parroquia El Rosario, cantón Chaguarpamba, provincia de Loja”** ha sido realizado y aprobado por mi persona, Andrea Sthefanía Carrión Fernández, Mgs. Docente de Educación Superior en la enseñanza del inglés como lengua extranjera.

El apartado del Abstract es una traducción textual del Resumen aprobado en español.

Particular que comunico en honor a la verdad para los fines académicos pertinentes, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.



Andrea Sthefanía Carrión Fernández. Mgs.

English Professor